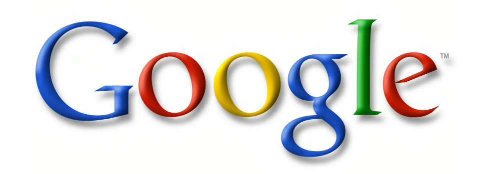
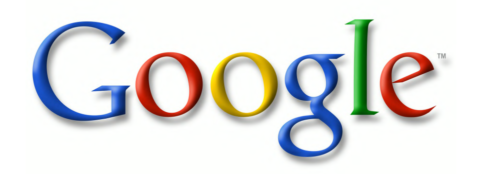
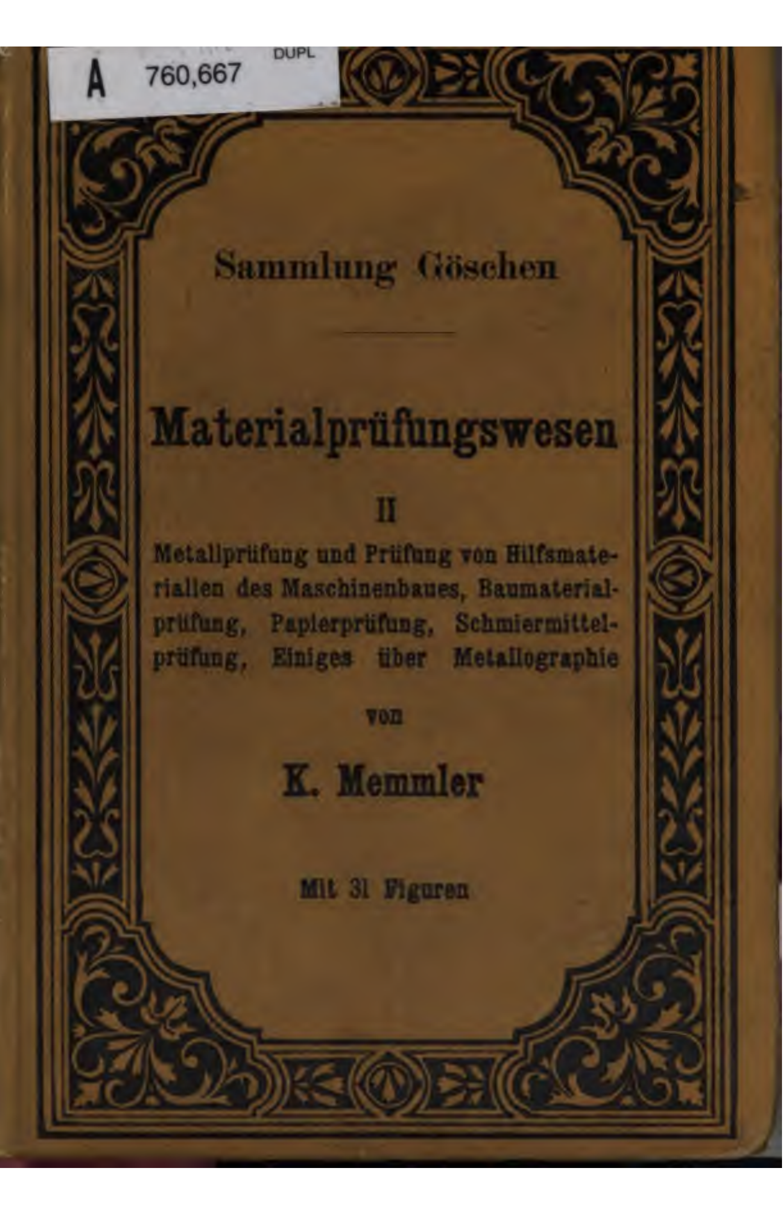



Google



Sammlung Göschen

Materialprüfungswesen

II

Metallprüfung und Prüfung von Hilfsmaterialien des Maschinenbaues, Baumaterialprüfung, Papierprüfung, Schmiermittelprüfung, Einiges über Metallographie

von

K. Memmler

Mit 31 Figuren

S

… am Karlsgym- … Mit 89 Fig.

Dr. L. W. Straub, Rektor des Eber-hard-Ludwigs-Gymnasiums in Stuttgart. Nr. 17.

Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate von Wilh. Weitbrecht, Prof. der Geodäsie in Stuttgart. Mit 15 Figuren und 2 Tafeln. Nr 302.

Baukunst, Die, des Abendlandes von Dr. K. Schäfer, Assistent am Gewerbemuseum in Bremen. Mit 22 Abbild. Nr. 74.

Betriebskraft, Die zweckmäßigste, von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. 1. Teil: Die mit Dampf betriebenen Motoren nebst 22 Tabellen über ihre Anschaffungs- und Betriebskosten. Mit 14 Abbildungen. Nr. 224.

— — 2. Teil: Verschiedene Motoren nebst 22 Tabellen über ihre Anschaffungs- und Betriebskosten. Mit 29 Abbildungen. Nr. 225.

Bewegungsspiele von Dr. E. Kohlrausch, Professor am Kgl. Kaiser Wilhelms-Gymnasium zu Hannover. Mit 14 Abbild. Nr. 96.

Biologie der Pflanzen von Dr. W. Migula, Prof. an der Forstakademie Eisenach. Mit 50 Abbild. Nr. 127.

Biologie der Tiere I: Entstehung u. Weiterbild. d. Tierwelt, Beziehungen zur organischen Natur v. Dr. Heinr. Simroth, Professor a. d. Universität Leipzig. Mit 33 Abbildungen. Nr. 131.

— — II: Beziehungen der Tiere zur organ. Natur v. Dr. Heinr. Simroth. Prof. an der Universität Leipzig. Mit 35 Abbild. Nr. 132.

Bleicherei. Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe von Wilhelm Massot, Lehrer an der Preuß. höh. Fachschule f. Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.

Brauereiwesen I: Mälzerei von Dr. Paul Dreverhoff, Direktor der Öffentlichen und I. Sächs Versuchsstation für Brauerei und Mälzerei sowie der Brauer- u Mälzerschule zu Grimma. Mit 16 Abbildungen. Nr. 303.

Buchführung. Lehrgang der einfachen u. dopp. Buchhaltung von Rob. Stern Oberlehrer der Öff. Handelslehranst u. Doz. d. Handelshochschule z. Leipzig Mit vielen Formularen. Nr. 115.

Buddha von Professor Dr. Edmund Hardy. Nr. 174.

Burgenkunde, Abriß der, von Hofrat Dr. Otto Piper in München. Mit 30 Abbild. Nr. 119.

Chemie, Allgemeine und physikalische, von Dr. Max Rudolphi, Doz. a. d. Techn. Hochschule in Darmstadt. Mit 22 Figuren. Nr. 71.

— **Analytische,** von Dr. Johannes Hoppe. I: Theorie und Gang der Analyse. Nr. 247.

— — II: Reaktion der Metalloide und Metalle. Nr. 248.

— **Anorganische,** von Dr. Jos. Klein in Mannheim. Nr. 37.

— — siehe auch: Metalle. — Metalloide.

Chemie, Geschichte der, von Dr. Hugo Bauer, Assistent am chem. Laboratorium der Kgl. Technischen Hochschule Stuttgart. I: Von den ältesten Zeiten bis zur Verbrennungstheorie von Lavoisier. Nr. 264.

— — II: Von Lavoisier bis heute. Nr. 265.

— **der Kohlenstoffverbindungen** von Dr. Hugo Bauer, Assistent am chem. Laboratorium der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I. II: Aliphatische Verbindungen. 2 Teile. Nr. 191. 192.

— — III: Karbocyklische Verbindungen. Nr. 193.

— — IV: Heterocyklische Verbindungen. Nr. 194.

— **Organische,** von Dr. Jos. Klein in Mannheim. Nr. 38.

— **Physiologische,** von Dr. med. A. Legahn in Berlin. I: Assimilation. Mit 2 Tafeln. Nr. 240.

— — II: Dissimilation. Mit 2 Tafeln. Nr. 241.

Chemisch-Technische Analyse von Dr. G. Lunge, Professor an der Eidgenöss. Polytechn. Schule in Zürich. Mit 16 Abbild. Nr. 195.

Dampfkessel, Die. Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium u. d. praktischen Gebrauch von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 67 Figuren. Nr. 9.

Dampfmaschine, Die. Kurzgefaßtes Lehrbuch m. Beispielen für das Selbststudium und den prakt. Gebrauch von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 48 Figuren. Nr. 8.

Dampfturbinen, Die, ihre Wirkungsweise und Konstruktion von Ingenieur Hermann Wilda in Bremen. Mit 89 Abbildungen. Nr. 274.

Dichtungen a. mittelhochdeutscher Frühzeit. In Auswahl m. Einltg. u. Wörterb. herausgegeb. v. Dr. Herm. Jantzen, Direktor der Königin Luise-Schule in Königsberg i. Pr. Nr. 137.

Dietrichepen. Kudrun u. Dietrichepen. Mit Einleitung und Wörterbuch von Dr. O. L. Jiriczek, Professor an der Universität Münster. Nr. 10.

Differentialrechnung von Dr. Frdr. Junker, Prof. a. Karlsgymnasium in Stuttgart. Mit 68 Fig. Nr. 87.

— Repetitorium u. Aufgabensammlung z. Differentialrechnung von Dr. Frdr. Junker, Professor am Karlsgymnasium in Stuttgart. Mit 46 Fig. Nr. 146.

Eddalieder mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen von Dr. Wilhelm Ranisch, Gymnasial-Oberlehrer in Osnabrück. Nr. 171.

Eisenhüttenkunde von A. Krauß, dipl. Hütteningen. I. Teil: Das Roheisen. Mit 17 Fig. u. 4 Tafeln. Nr. 152.

— II. Teil: Das Schmiedeisen. Mit 25 Figuren und 5 Tafeln. Nr. 153.

Elektrizität. Theoret. Physik III. Teil: Elektrizität u. Magnetismus. Von Dr. Gust. Jäger, Professor a. d. Univers. Wien. Mit 33 Abbildgn. Nr. 78.

Elektrochemie von Dr. Heinr. Danneel, Privatdozent in Breslau. I. Teil: Theoretische Elektrochemie und ihre physikalisch-chemischen Grundlagen. Mit 18 Figuren. Nr. 252.

Elektrotechnik. Einführung in die moderne Gleich- und Wechselstromtechnik von J. Herrmann, Professor der Elektrotechnik an der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I: Die physikalischen Grundlagen. Mit 47 Fig. Nr. 196.

— II: Die Gleichstromtechnik. Mit 74 Figuren. Nr. 197.

— III: Die Wechselstromtechnik. Mit 109 Figuren. Nr. 198.

Epigonen, Die, des höfischen Epos. Auswahl aus deutschen Dichtungen des 13. Jahrhunderts von Dr. Viktor Junk, Aktuarius der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Nr. 289.

Erdmagnetismus, Erdstrom, Polarlicht von Dr. A. Nippoldt jr., Mitglied des Königl. Preußischen Meteorologischen Instituts zu Potsdam. Mit 14 Abbild. und 3 Tafeln. Nr. 175.

Ethik von Professor Dr. Thomas Achelis in Bremen. Nr. 90.

Exkursionsflora von Deutschland zum Bestimmen der häufigeren in Deutschland wildwachsenden Pflanzen von Dr. W. Migula, Professor an der Forstakademie Eisenach. 1. Teil. Mit 50 Abbildungen. Nr. 268.

— — 2. Teil. Mit 50 Abbildungen. Nr. 269.

Familienrecht. Recht des Bürgerlichen Gesetzbuches. Viertes Buch: Familienrecht von Dr. Heinrich Titze, Prof. a. d. Univ. Göttingen. Nr. 305.

Färberei. Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei u. ihre Hilfsstoffe v. Dr. Wilh. Massot, Lehrer a. d. Preuß. höh. Fachschule f. Textilindustrie i. Krefeld. M. 28 Fig. Nr. 186.

Feldgeschütz, Das moderne, von W. Heydenreich, Oberstleutnant u. Militärlehrer an der Militärtechnischen Akademie. I: Die Entwicklung des Feldgeschützes seit Einführung des gezogenen Infanteriegewehrs bis einschließlich der Erfindung des rauchlosen Pulvers, etwa 1850 bis 1890. Mit 1 Abbildung. Nr. 306.

Fortsetzung auf der 4. Vorsatzseite.

Sammlung Göschen

Materialprüfungswesen

Einführung in die moderne Technik der Materialprüfungen

von

K. Memmler

Diplomingenieur
Ständiger Mitarbeiter am Königlichen Material-Prüfungsamte
zu Groß-Lichterfelde

Zweiter Teil

Metallprüfung und Prüfung von Hilfsmaterialien des Maschinenbaues — Baumaterialprüfung — Papierprüfung — Schmiermittelprüfung — Einiges über Metallographie

Mit 31 Figuren

Leipzig
G. J. Göschen'sche Verlagshandlung
1907

Spamersche Buchdruckerei in Leipzig-R.

Inhaltsverzeichnis.

Zweiter Teil.

Literaturübersicht.

Martens, Handbuch der Materialienkunde. Berlin 1898. J. Springer. (Im Text kurz „Materialienkunde“ genannt.)

v. **Tetmajer**, Angewandte Elastizitäts- und Festigkeitslehre. Wien-Leipzig 1904. Deuticke.

v. **Bach**, Elastizität und Festigkeit. Berlin 1902. J. Springer.

Das Königliche Materialprüfungsamt der Technischen Hochschule Berlin. Denkschrift zur Eröffnung von A. Martens und M. Guth. Berlin 1904. J. Springer. (Im Text kurz „Denkschrift“ genannt.)

Mitteilungen aus dem Königlichen Materialprüfungsamte Berlin. J. Springer. (Früher „Mitteilungen aus den Technischen Versuchsanstalten“; im Text kurz „Mitteilungen“ genannt).

Mitteilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der Technischen Hochschule München.

Mitteilungen aus der Materialprüfungsanstalt am schweizerischen Polytechnikum Zürich. 1900.

Striebeck, Der Warmzerreißversuch von langer Dauer. — Mitteilungen über Forschungsarbeiten. Herausgegeben vom Verein deutscher Ingenieure. Heft 18.

Heyn, Krankheitserscheinungen im Eisen und Kupfer. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1902.

M. **Rudeloff**, Hilfsmittel und Verfahren der Materialprüfung. (Die Baumaterialien. Handbuch der Ingenieurwissenschaften. IV. Bd.) Leipzig 1889. W. Engelmann.

Normen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Zement.

Schweizerische Normen für Lieferung und Prüfung von Zement.

Betonkalender. Berlin 1906. Ernst u. Sohn.

Büsing-Schumann. Der Portland-Zement und seine Anwendung im Bauwesen. Berlin 1905. E. Toeche.

Heusegger u. **Waldeck**, Kalk- und Zementfabrikation. Leipzig 1875. Thomas.

Herzberg, Papierprüfung. Berlin 1902. J. Springer.

Valenta, Das Papier. Halle a. S. 1904. W. Knapp.

Müller-Haußner, Die Herstellung und Prüfung des Papieres. Berlin 1905. Loewenthal.

Lunge, Chemisch-technische Untersuchungsmethoden. Berlin 1905. J. Springer.

Holde, Untersuchung der Mineralöle u. Fette. Berlin 1905. J. Springer.

Heyn, Einiges über das Kleingefüge des Eisens. Stahl und Eisen, Jahrgang 1899.

Bauer, Die Metallographie. Baumaterialienkunde 1904.

Heyn, Die Metallographie im Dienste der Eisenhüttenkunde. Freiberg 1903. Craz und Gerlach.

Einleitung.

Sind im ersten Bändchen die Grundzüge der Materialprüfungen, die Festigkeitsversuche und deren Hilfsmittel erörtert worden, so soll im vorliegenden zweiten Bändchen auf die einzelnen Sondergebiete des Materialprüfungswesens, soweit der Raum dies zuläßt, näher eingegangen werden. Der Einteilung und Beschreibung des Stoffes ist hierbei die Organisation des Königlichen Materialprüfungsamtes zu Groß-Lichterfelde, das das gesamte Gebiet bearbeitet, zugrunde gelegt worden, indem nacheinander die Arbeitsgebiete der dortigen Abteilungen für Metallprüfung (Prüfung der Maschinenbau- und Konstruktionsmaterialien usw.), für Baumaterialprüfung, für Papierprüfung, für Ölprüfung und für Metallographie hier behandelt sind.

In bezug auf die Prüfung der Maschinenbau- und Konstruktionsmaterialien, die in der Hauptsache auf die bereits beschriebenen Arten von Festigkeitsversuchen beschränkt ist, wird sich an dieser Stelle nur wenig mehr dem im ersten Bändchen Gesagten hinzufügen lassen. Von der Erörterung der in größerer Anzahl in Benutzung befindlichen Prüfungsvorschriften der verschiedenen Interessentengruppen (Würzburger und Hamburger Normen, Lieferungsvorschriften für die Kaiserl. Marine, des Germanischen Lloyds, des Vereins deutscher Eisenhüttenleute, des Vereins deutscher Eisengießereien usw.), die hauptsächlich Festigkeitswerte für die verschiedenen Verwendungszwecke der Metalle usw., Probenabmessungen und Versuchsbedingungen vorschreiben, ist abgesehen worden.

hingegen sind im ersten Abschnitte des zweiten Bändchens neben der Beschreibung besonderer Prüfungsverfahren einige Angaben aus der Materialienkunde, besonders derjenigen der Metalle, die für den Technologen Interesse haben, wiedergegeben.

Die übrigen Unterabschnitte des Materialprüfungswesens, die Baumaterialprüfung, die Papierprüfung, die Prüfung der Schmiermittel und der Metallographie, sind in sich geschlossene Sondergebiete und dementsprechend unabhängig voneinander bearbeitet.

I. Prüfung der Konstruktionsmaterialien und der Hilfsmittel für den Maschinenbau.

(Zum Gebiet der Metallprüfungsabteilung gehörig.)

Die im ersten Bändchen beschriebenen Festigkeitsversuche und die dafür erforderlichen Hilfsmittel finden ihre hauptsächlichste Anwendung bei der Prüfung der Maschinenbau- und Konstruktionsmaterialien, in erster Linie der Metalle, ferner des Holzes und einer Reihe von Hilfsmaterialien des Maschinenbaues, der Riemen, Seile, Ketten usw.

1. Metallprüfung und einiges aus der Materialienkunde der Metalle.

Obgleich die Metallprüfung eigentlich als die Grundlage für die planmäßige Ausgestaltung des Materialprüfungswesens zu betrachten ist, so sind die Bestrebungen *nach Vereinheitlichung* ihrer Prüfungsverfahren von weit

geringerem Erfolge begleitet gewesen, als bei allen anderen jüngeren Zweigen dieser Wissenschaft. Der enorme Umfang unserer Eisenhütten- und Maschinenindustrie, die große Mannigfaltigkeit der Verwendungszwecke ihrer Erzeugnisse haben wohl Prüfungs- und Abnahmevorschriften einzelner Interessentengruppen in größerer Anzahl erstehen lassen, aber Vereinheitlichung, soweit sie überhaupt auf diesem Gebiete erreichbar und wünschenswert ist, ist bisher nicht erzielt worden. Der Materialprüfungstechniker, der die vielerlei Vorschriften verständnisvoll durchblättert, wird auf eine ganze Reihe von Punkten stoßen (Probenform, Probenabmessungen, Dehnungsmessung usw.), für die Vereinheitlichung ohne Beeinträchtigung von Sonderinteressen der sachgemäßen Versuchsausführung nur förderlich sein könnte und vor allem unbeschränktere Beurteilung der Versuchsergebnisse ermöglichen würde. Wie im ersten Bändchen bei der Erörterung der Dehnungsmessungen hervorgehoben wurde (I. S. 32 u. fgd.), sind die Versuchsergebnisse verschiedener Prüfungsstellen teilweise durchaus nicht ohne weiteres und ohne Kenntnis des Versuchsverfahrens, mit dem sie gewonnen wurden, miteinander vergleichbar. Allgemein gültige Vereinbarungen und Festsetzungen nach dieser Richtung hin ermöglichen somit außerordentliche Erleichterung der Materialbeurteilung. Die Arbeiten und Bestrebungen der nationalen und internationalen Verbände zur Festsetzung einheitlicher Prüfungsverfahren haben auf diesem Gebiete bereits bedeutende Erfolge gezeitigt, und es sollte mit allen Kräften danach gestrebt werden, ihren Festsetzungen überall Geltung zu verschaffen.

Unter den Metallen, die aus praktischem Interesse regelmäßig der Prüfung unterzogen werden, sind in erster Linie unsere technischen Eisensorten zu nennen.

Eisen in der Form, wie es für technische Zwecke zur Verwendung kommt, ist bekanntlich kein Reinmetall, vielmehr eine Legierung des metallischen Eisens mit Kohlenstoff und einer Anzahl anderer metallischer (Mangan) oder metalloidischer Beimengungen (Silizium, Phosphor, Schwefel). Besonders der niedrige oder hohe Gehalt an Kohlenstoff im Eisen charakterisiert ganz bestimmte Eisensorten, die in ihren physikalischen und Festigkeitseigenschaften durchaus verschieden sind und daher auch in der Technik voneinander abweichende Verwendung finden. Es sind hiernach zwei große Gruppen von Eisensorten zu unterscheiden: das *Gußeisen* und das *schmiedbare Eisen*.

a) Gußeisen.

Gußeisen nennt man das in der Regel in besonderen Ofenkonstruktionen (Kupolofen) umgeschmolzene Roheisen, das im Hochofen erzeugt wurde. Es findet im Maschinenbau ausgiebigste Verwendung als Material für Maschinengestelle, Maschinenrahmen usw., in der Baupraxis für Säulen, Röhren usw., weil es, im geschmolzenen Zustande zur Formgebung nach jeder Richtung hin besonders geeignet, in dünnem Fluß die Gießformen gut ausfüllt und auch meist leicht zu bearbeitende Güsse liefert.

Charakterisiert ist Gußeisen, wie Roheisen überhaupt, gegenüber dem schmiedbaren Eisen durch seinen Kohlenstoffgehalt, der 2, 3 und mehr Prozent (bei manchen Sorten bis 7 %) betragen kann und in Form von graphiti schem und von chemisch gebundenem Kohlenstoff enthalte ist. Der hohe Kohlenstoffgehalt gibt dem Eisen bestimmt Materialeigenschaften, er veranlaßt je nach dem Gehalt

an chemisch gebundenem Kohlenstoff mehr oder weniger große Härte und vermindert auch die Formänderungsfähigkeit des Eisens.

Die Prüfungen des Gußeisens erstrecken sich zumeist auf die Feststellung der Zugfestigkeit, zweckmäßig an Normalstäben (s. I. S. 43), der Druckfestigkeit, gewöhnlich an würfelförmigen oder zylindrischen Normaldruckkörpern (Höhe = Durchmesser), und der Biegefestigkeit. Letztere wird im Materialprüfungsamte an Stäben mit quadratischem Querschnitt von 1100 mm Länge und 30 × 30 mm Querschnittsfläche mit Unterstützung der Probeenden und Kraftangriff in der Mitte (s. I. S. 74) ermittelt. Man findet beim Gußeisen Zugfestigkeiten zwischen 1200—1500 kg/qcm, Biegefestigkeit zwischen 2000—3600 kg/qcm, Druckfestigkeit zwischen 6000 bis 8000 kg/qcm; das Formänderungsvermögen ist meist gering, δ und q (s. I. S. 27 u. fgd.) in der Regel unter 1 %. Das Gußeisen ist für den Materialprüfungstechniker ferner dadurch charakterisiert, daß bei ihm keine Proportionalitäts- und Elastizitätsgrenze (s. I. S. 15) feststellbar ist und daß es sich im Anlieferungszustande zunächst als vollkommen unelastisch erweist. Nach Versuchen von Bach und Tetmajer zeigt es indessen die Eigentümlichkeit, die man auch beim Leder und beim Beton beobachten kann, daß es innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen durch wiederholte Be- und Entlastung in den elastischen Zustand übergeführt werden kann. Diese Eigentümlichkeit, die bei den elastischen Eigenschaften des Lederriemens (s. S. 35) eingehender erörtert ist, kommt in den nachstehenden Zahlen, die Tetmajers „Angewandter Elastizitäts- und Festigkeitslehre" entnommen sind, zum Ausdruck.

	Gußeisen I		Gußeisen II		Gußeisen III	
Belastet zwischen: und	104 kg/qcm 497 „	104 kg/qcm 745 „	104 kg/qcm 497 „	104 kg/qcm 745 „	1 01 kg/qcm 500 „	110 kg/qcm 745 „
$\Delta\lambda$ in cm 10^{-3}						
1. Spannungswechsel	5.80	10.18	4.75	8.87	6.45	10.88
2. „	5.41	9.18	4.47	8.17	6.01	9.51
3. „	5.41	9.15	4.49	8.17	5.91	9.49
4. „	5.39	9.12	4.51	8.13	5.90	9.44
5. „	5.41	9.14	4.52	8.13	5.90	9.51
6. „	5.38	9.17	4.50	8.13	5.88	9.47
7. „	5.39	9.18	4.52	8.11	5.85	9.59
8. „	5.39	9.11	4.53	8.12	5.89	9.48
9. „	5.37	9.22	4.51	8.11	5.88	9.43
10. „	5.36	9.12	4.51	8.13	5.86	9.56

Auch eine ausgeprägte Formänderungsgrenze (Fließgrenze s. I. S. 17) läßt sich beim Gußeisen nicht feststellen, weshalb man sich bei seinen Festigkeitsprüfungen auf die Feststellung der Bruchgrenze beschränkt und diese als Vergleichs- und Gütemaßstab benutzt. Das Bruchgefüge des Gußeisens ist grobkörnig.

Martens empfiehlt als geeignete Qualitätsprobe für Gußeisen die Schlagbiegeprobe unter dem Pendelhammer (s. I. S. 98).

Der Verein deutscher Eisengießereien hat für die Lieferung von Gußeisen Vorschriften aufgestellt, die die Gußwaren einteilen in Maschinenguß, Bau- und Säulenguß und Röhrenguß. An Festigkeitsversuchen schreiben diese Vorschriften nur die Ermittlung der Biegefestigkeit und des Widerstandes von Hohlkörpern gegen inneren Druck vor. Als Gütemaßstab wird ausschließlich die Biegefestigkeit benutzt. Die Biegefestigkeit soll an Probestäben mit kreisrundem Querschnitt ermittelt werden; die Abmessungen der Probestäbe sind je nach der Wandstärke der Gußwaren, die aus dem zu prüfenden Gußeisen hergestellt werden, festgesetzt.

b) Das schmiedbare Eisen.

Bei weitem lehrreicher und ausgiebiger als beim Gußeisen gestaltet sich für den Materialprüfungstechniker die Prüfung des schmiedbaren Eisens in seinen verschiedenen Abarten und Zuständen.

Die Bezeichnungsweisen für die verschiedenen Schmiedeeisensorten sind außerordentlich mannigfaltige und zum Teil recht verworrene. Allgemein kann man als schmiedbares Eisen diejenigen Eisensorten ansprechen, die, mit einem Kohlenstoffgehalt unter 1%, der Formgebur

mit dem Hammer meist im erwärmten Zustande mehr oder weniger zugänglich, also schmiedbar sind. Man spricht nun aber von Schmiedeeisen und Stahl, von Schweißeisen, Schweißstahl, von Flußeisen, Flußstahl; man bezeichnet ferner die Eisensorten nach ihrem Herstellungsprozeß mit Puddeleisen (Puddelofen), Siemens-Martin-Eisen (Siemens-Martin-Ofen), bei letzterem unterscheidet man wieder saures und basisches (je nachdem das Herdfutter des Ofens sauer oder basisch war); ferner kennt man Konvertereisen (die im Konverter oder der Birne erblasenen Eisensorten) in zwei Sorten als Thomaseisen (nach dem Thomas-Gilchrist-Verfahren) und als Bessemereisen (nach dem Bessemerverfahren).

Nach amerikanischem und englischem Sprachgebrauch wird mit Stahl alles im flüssigen Zustande gewonnene schmiedbare Eisen bezeichnet, das je nach dem Kohlenstoffgehalt als weicher, mittelharter oder harter Stahl angesprochen wird. Auch die deutsche Eisenhüttenpraxis hat sich teilweise diesem Sprachgebrauch angeschlossen; man spricht z. B. ganz allgemein vom Stahlwerk, als einem Siemens-Martinwerk, in dem durchaus nicht nur Stahl im landläufigen Sinne, sondern auch Flußeisen erzeugt wird. Im Gegensatz zu diesem Stahl versteht der Engländer unter Schweißeisen alles im teigigen Zustande gewonnene schmiedbare Eisen (Puddelprozeß), das, wenn es deutlich härtbar ist, auch Schweißstahl genannt wird.

Nachstehend ist eine Namenregelung wiedergegeben, die sich zum Teil auf Festsetzungen der technischen Staatsverwaltungen Preußens (Ministerium der öffentlichen Arbeiten) stützt.

Schmiedbares Eisen.

Flußeisen im flüssigen Zustande gewonnen		**Schweißeisen** im teigigen Zustande gewonnen	
Flußeisen	**Flußstahl**	**Schweißeisen**	**Schweißstahl**
nicht deutlich härtbar	deutlich härtbar	nicht deutlich härtbar	deutlich härtbar
Kohlenstoffgehalt: $< 0{,}5\,\%$	Kohlenstoffgehalt: $> 0{,}5\,\%$	Kohlenstoffgehalt: $< 0{,}5\,\%$	Kohlenstoffgehalt: $> 0{,}5\,\%$
$\sigma_B < 50$ kg/qmm	$\sigma_B > 50$ kg/qmm	$\sigma_B < 50$ kg/qmm	$\sigma_B > 50$ kg/qmm

Die Untersuchung, ob Eisen oder Stahl vorliegt, hat sich hiernach darauf zu erstrecken, ob das Material deutlich härtbar ist, was entweder durch Anfeilen vor und nach dem Abschrecken in Wasser (rotwarm in Wasser von 28° abschrecken s. I. S. 107) oder durch Feststellung der Biegegröße B_g (s. I. S. 104) im angelieferten und gehärteten Zustande (Härtebiegeprobe) zu ermitteln ist. Ferner bedarf es der chemischen Analyse zur Feststellung des Kohlenstoffgehaltes und der Zerreißprobe zur Ermittlung von σ_B (s. I. S. 25). Schwieriger ist es, mit Sicherheit die Probe als Flußeisen oder Schweißeisen zu charakterisieren. Das Gefüge gibt hier wohl für das geübte Auge einige Anhaltepunkte (sehnige, schiefrige Struktur für Schweißeisen), zur sicheren Feststellung bedarf es indessen der metallographischen Untersuchung (s. S. 148). Da im ersten Bändchen den Beschreibungen der verschiedenen Arten von Festigkeitsversuchen, wie auf S. 47 bemerkt, ein Probekörper aus Flußeisen zugrunde gelegt ist, so bleibt über die Festigkeitsversuche mit Flußeisen selbst an dieser Stelle nur wenig noch zu sagen. Seine *Festigkeitswerte* schwanken für die verschiedenen Eisensorte

in so weiten Grenzen, daß man allgemein zutreffende Angaben darüber schwer machen kann. Gewöhnliches Handelsflußeisen hat Festigkeiten von 4000—4500 kg/qcm, Stahl von 5000 kg/qcm und darüber; das für die Herstellung der Seile verwendete Stahldrahtmaterial hat häufig bis zu 18000 kg/qcm Zugfestigkeit. Die Hamburger und Würzburger Normen, die Lieferungsvorschriften der Kaiserl. Marine, sowie des Vereins deutscher Eisenhüttenwerke geben in ihren Lieferungsbedingungen Festigkeitswerte für Eisen, das bestimmten Verwendungszwecken dienen soll, weswegen auf diese Vorschriften verwiesen wird.

Flußeisen und Stahl zeigen in der Regel gute Formänderungsfähigkeit und auch meist scharf ausgeprägte Formänderungsgrenzen; sie folgen im allgemeinen dem Hookeschen Gesetz (s. I. S. 16), unterliegen aber in ihren Festigkeitseigenschaften mannigfachen Beeinflussungen.

Die Proportionalitätsgrenze und die Fließgrenze (s. I. S. 16) erfahren besonders beim Flußeisen erhebliche Verschiebungen, wenn das Material erst einmal über eine dieser Grenzen hinaus belastet wurde. Bauschinger („Mitteilungen“ München Heft 13) hat hierüber eingehende Studien getrieben, deren wichtigste Ergebnisse nachstehend kurz zusammengefaßt sind:

1. Die Proportionalitätsgrenze (im folgenden kurz *P*-Grenze genannt) erfährt eine Erhöhung, wenn sie erst einmal überschritten wurde, die Belastung aber nicht bis zur Streckgrenze (kurz *S*-Grenze) gesteigert wurde.
2. Die *P*-Grenze findet man bis fast auf Null heruntergedrückt, wenn die Belastung bis über die *S*-Grenze gesteigert und der Versuch sofort wiederholt wurde. Dieser Materialzustand ist indessen kein dauernder.

Überläßt man den Probestab nach der Überlastung der Ruhe, so stellt sich *P* schon nach kurzer Zeit wieder ein, die *P*-Grenze liegt dann aber höher, als sie bei dem ursprünglichen Materialzustande (Anlieferungszustand) gefunden wurde.

3. Die *S*-Grenze wird gehoben, wenn das Material einmal über diese Grenze hinaus belastet wurde. Die Erhebung findet meist bis zu derjenigen Spannungsgrenze statt, bis zu der das Material belastet wurde. Auch dieser Zustand ist kein dauernder. Ein einmal über die *S*-Grenze belastetes Material erfährt vielmehr ohne äußeres Zutun eine fortwährende, auf Jahre hinaus feststellbare Erhöhung der *S*-Grenze.
4. Dieser fortdauernd veränderliche Zustand kann durch Erwärmen des Eisens auf 700—750 ⁰ (Rotglut) mit darauffolgender langsamer Abkühlung (Ausglühen) behoben werden. *P*- und *S*-Grenze werden durch diese Behandlung wiederum erniedrigt. Das Material ist wieder in einen ohne äußeres Zutun unveränderlichen Zustand übergeführt.
5. Auch der *E*-Modul (s. I. S. 28) wird durch Überlastung des Eisens über die *S*-Grenze zunächst erniedrigt, hebt sich aber mit der Zeit wieder.

Der Überlastung über die *S*-Grenze kommt hinsichtlich der Wirkung auf die Formänderungsgrenzen des Materials jede andere Kaltbearbeitung, Kaltwalzen, Ziehen, Hämmern, Biegen, Richten usw. gleich. Man findet deswegen beim Eisen und Stahl, wenn das Material im sogenannten Anlieferungszustande geprüft wird, häufig nahe an der Bruchgrenze liegende *S*-Grenzen, eben weil das Material von irgend einer vorhergegangenen Kaltbearbeitung her mit Spannungen behaftet ist, die die *oben unter* 3 beschriebenen Wirkungen haben. Das

gleiche Eisen wird man durch Ausglühen in der besc benen Weise stets in den spannungsfreien Naturzus überführen können und dann Streckgrenze in norm Lage zur Bruchgrenze finden. Bei spannungsfreiem F eisen pflegt der Quotient σ_S/σ_B, der die Lage der S-Gr zur Bruchgrenze kennzeichnet, zwischen 0,6—0,7 schwanken. Höhere Werte für σ_S/σ_B lassen fast immer auf kalte Vorbearbeitung des Materials schließen, durch die dasselbe härter, weniger formänderungsfähig wurde. Einige der Prüfungsvorschriften und Abnahmebedingungen (Würzburger Normen) schreiben aus diesem Grunde auch vor, daß die Probestücke sämtlich vor der Prüfung ausgeglüht werden müssen, weil mit Recht für einwandfreie Vergleichung der Festigkeitseigenschaften mehrerer Materialien miteinander nur der spannungsfreie Naturzustand heranzuziehen ist.

Den Einfluß voraufgegangener Formänderungen auf die Festigkeitseigenschaften der Metalle, insbesondere die Veränderung der Festigkeitswerte durch wiederholte Prüfung derselben Probestücke, den Einfluß des Biegens und Richtens, des Ausglühens von durch Zugbelastung vorgestrecktem Material sowie den Einfluß des Streckens bei höheren Wärmegraden behandelt Rudeloff in einer sehr eingehenden Studie, die in den Mitteilungen a. d. K. M. A. 1901 I. Erg.-Heft veröffentlicht ist. Die Versuchsergebnisse bestätigen die Bauschingerschen Sätze vollauf und geben in vielen Punkten wichtige Ergänzungen.

Wie die meisten Metalle, so verändern auch die schmiedbaren Eisensorten ihre Festigkeitseigenschaften in der Wärme ganz erheblich. Die nachstehend wiedergegebenen Werte, die im Königl. Materialprüfungsamte gefunden wurden („Mitteilungen“ 1890, S. 159), geben ein *anschauliches Bild* dieser Beeinflussung durch die Wärme

Geprüft bei ° C		−20°	20°	100°	200°	300°	400°	500°	600°
Flußeisen I Festigkeit 4100 kg/qcm (ungeglüht)	σ_B kg/qcm δ_{100} q %	4120 31.9 55.8	3800 29.8 60.9	3950 24.1 50.9	4960 15.8 41.5	4740 20.0 25.6	3410 35.0 57.5	1930 50.3 79.6	1070 76.7 89.8
Flußeisen II Festigkeit 4800 kg/qcm (ungeglüht)	σ_B kg/qcm δ_{100} q %	4670 26.8 48.7	4340 28.9 48.4	4390 15.6 43.2	5480 14.3 28.4	5290 22.6 27.6	4320 29.5 50.6	2260 44.9 79.5	1090 67.3 95.7
Flußeisen III Festigkeit 5300 kg/qcm (ungeglüht)	σ_B kg/qcm δ_{100} q %	5010 26.9 57.5	4700 28.6 61.5	4670 18.6 55.4	5400 12.9 36.3	4470 5.3 8.5	4320 30.9 44.5	2660 44.8 74.1	1340 56.9 89.3

Wie die Zahlen erkennen lassen, nimmt die Bruchfestigkeit bis zu 200° C zu, die Formänderungsfähigkeit hingegen ab. Oberhalb dieser Wärmestufe bewegen die Werte sich im umgekehrten Sinne. Das Eisen ist hiernach bei etwa 200° am sprödesten, am wenigsten formänderungsfähig. Diese Wärme entspricht der Blauwärme, so genannt, weil bei ihr das Eisen blaue Anlauffarbe zeigt. Es ist aus diesem Grunde gebräuchlich, die technologische Biegeprobe (s. I. S. 103) bei Blauwärme, die Blaubruchprobe auszuführen, um das Verhalten des Eisens bei dieser kritischen Temperatur zu ermitteln. Blaubrüchiges Eisen bildet eine große Gefahr für alle Konstruktionen. So kann es beispielsweise, zu Kesselblech verarbeitet, bei der Vernietung der Kesselschüsse durch die im rotwarmen Zustande versetzten Nieten eine Teilerhitzung erfahren, die gelegentlich an Blauwärme herankommt und Veranlassung wird, daß die Bleche infolge ihrer Blaubrüchigkeit schon bei dieser Bearbeitung Verletzungen erfahren. In der Zeitschrift für Dampfkesselüberwachung, Jahrgang 1905, S. 319 sind eine Reihe von Bruchererscheinungen in Kesseln beschrieben, die zweifellos auf Blaubrüchigkeit des Eisens zurückzuführen sind.

Nach neueren Versuchen von Striebeck (Zeitschrift des Vereins d. Ing. 1903 und 1904) empfiehlt sich auch vor der Ausführung der Zugversuche mit Stäben im erwärmten Zustande das Ausglühen der Stäbe, weil sonst die Lage der Streckgrenze von der Dauer der Erwärmung während des Versuches beeinflußt wird. Die Erwärmung des Probestabes während des Versuches, besonders bei höheren Wärmegraden, kommt ja der Wirkung des Ausglühens nahe; je stärkere Kaltbearbeitung der Probestab vor dem Versuch erfahren hat, um so mehr wird sich diese Wirkung geltend machen. Striebeck fand bei Stäben

aus hartgewalztem Duranametall, die er bei 400 ° C prüfte, nachstehende *S*-Grenzen:

Dauer der Erwärmung auf 400° in Minuten	5	30	60	120	180	240
Spannung an der *S*-Grenze kg/qcm	2130	1650	1380	1250	1180	1130

Diese Verhältnisse werden zweifellos auch auf Eisen zu übertragen sein.

Die Versuchsausführung von Zugversuchen bei höheren Wärmegraden geschieht im Materialprüfungsamte („Mitteilungen" 1893) unter Verwendung von Wärmebädern, von denen die Stäbe während des Versuchs umgeben sind. Der hierzu benutzte Ofen ist in Fig. 1 wiedergegeben. Die Wärmebäder werden in das innere Gefäß von 100 mm Lichtweite eingefüllt; das Innengefäß ist von einem Eisenblechmantel umgeben. Zwischen diesem und dem Innengefäß ist Wärmeschutzmasse eingebettet. Der ganze Ofen wird in die Prüfungsmaschine (in der Regel die 50 t-Martensmaschine, s. I. S. 136) eingebaut und mit Gas beheizt, für die höheren Wärmegrade (600 °) unter Zuhilfenahme von kleinen Wasserradgebläsen. Als Wärmeflüssigkeiten dienen bei 100 ° Wasser, bei 200 ° Paraffin, bei

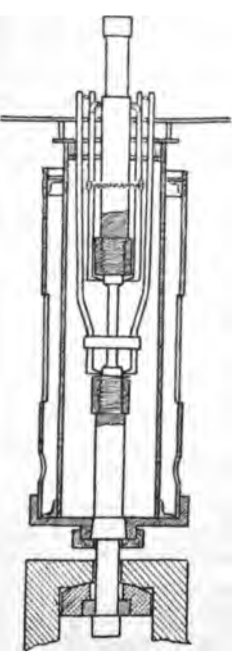


Fig. 1.
(Ofen für Zugversuche bei höheren Wärmegraden)

300° Maschinenöl, bei 400—600° eine Mischung von Kali- und Natronsalpeter zu gleichen Teilen. Zur Bestimmung der elastischen Formänderungen und der P-Grenze werden Martenssche Spiegelapparate (s. I. S. 143) benutzt; die Spiegel der Apparate sind aber mit entsprechend langen Spiegelträgern versehen, um sie der Wärmestrahlung aus dem Ofen zu entziehen (Materialienkunde S. 202).

Striebeck benutzte bei seinen Versuchen elektrisch beheizte Öfen, die in der bekannten Bauart von Heräus aus einem Schamotterohre, das mit Platindraht oder Platinfolie bewickelt ist, bestehen. Durch die Platinfolie wird Strom geleitet, wodurch Erwärmung der Folie und des Schamotterohres veranlaßt wird.

Ergebnisse von Versuchen bei höheren Wärmegraden auch mit anderen Metallen finden sich veröffentlicht in:

Mitteilungen 1890, S. 159 Martens. (Eisen.)
„ 1893 „ 292 Rudeloff. (Schweißeisen, Kupfer, Bronze.)
„ 1895 „ 29 „ (Manganbronze.)
„ 1900 „ 293 „ (Gußeisen, Temperguß, Stahlformguß, Bronze und Hartblei.)

Außerordentlich interessant sind auch die Beeinflussungen der Festigkeitseigenschaften des Flußeisens durch falsche Wärmebehandlung, die Überhitzung zur Folge hatte. Heyn bezeichnet in einem Aufsatz in Zeitschr. d. Ver. d. Ing. 1902, S. 1115, auch Dingl. Polyt. Journ. 1902, S. 741, diese Veränderungen mit Krankheitserscheinungen, von denen das Eisen jedoch durch geeignete Nachbehandlung wieder zu heilen ist. Die Heynschen Versuchsergebnisse gipfeln in nachfolgenden Schlußfolgerungen, *die der Zusammenstellung in Dinglers Journal entnommen sind:*

„Kohlenstoffarme Flußeisensorten nehmen an Sprödigkeit zu, wenn sie bei höheren Wärmegraden (über 1000 ^{0}) genügend lange Zeit geglüht werden, und zwar um so mehr und nach um so kürzerer Zeit, je höher die Glühwärme liegt.

Die durch solche Überhitzung verursachte Sprödigkeit läßt sich durch Ausglühen beseitigen. Der erforderliche Glühgrad ist abhängig von der Glühdauer; bei kurzer Glühdauer sind mindestens 900 ^{0} erforderlich, bei längerem, tagelangem Glühen genügen bereits 700—850 ^{0}.

Flußeisen, welches im überhitzten Zustande durch Walzen, Schmieden usw. mechanisch bearbeitet wird, zeigt nach dem Erkalten keine Sprödigkeit.

Überhitztes Flußeisen zeigt in der Regel auf den Bruchflächen grobes Korn und im Gefüge Kristallkörner von erheblichen Abmessungen. Beide Eigentümlichkeiten lassen allein jedoch nicht auf vorangegangene Überhitzung schließen, da sie auch durch andere Umstände (Geschwindigkeit und Art der Abkühlung und Bruchherbeiführung) veranlaßt sein können.

Hiernach kann bei Flußeisen auf Überhitzung geschlossen werden, wenn große Sprödigkeit vorhanden ist und diese Sprödigkeit nach kurzem Glühen bei 900 ^{0}, bzw. sehr langem Glühen bei 700—850 ^{0} beseitigt wird. Die Sicherheit der Diagnose wird erhöht, wenn auch grobkörniger Bruch und Gefüge mit großen Kristallkörnern festgestellt werden können.“

Auch durch Abkühlung unter 0 ^{0} C erfahren die Eisensorten teilweise Veränderung ihrer Festigkeitseigenschaften. Rudeloff veröffentlicht hierüber in den „Mitteilungen“ 1895, S. 197 eine Anzahl Ergebnisse von Versuchen mit verschiedenen Eisensorten (weiches Nieteisen, Schiffbaustahl [Siemens-Martin- und Thomas-], *Schweißeisen,* Federstahl, Gußstahl, Hammereisen). Die

Versuche umfaßten Zug- und Stauchversuche, sowie Biegeproben bei Zimmerwärme (+ 18° C), bei — 20° C (Mischung von gestoßenem Eis und Kochsalz) und — 80° (flüssige Kohlensäure). Für die Zugversuche wurden die Versuchsstäbe, ähnlich wie bei den Warmversuchen, in ein Zinkblechgefäß eingebaut, das mit der Kältemischung angefüllt wurde. Bei den Versuchen mit flüssiger Kohlensäure wurde ein schlauchartiger Überzug aus doppelt gelegtem Samt über Probestab und Einspannklauen gezogen, hinter den Einspannklauen fest zugeschnürt und in ihn Kohlensäure aus einer Vorratsflasche eingeleitet, die fest um den Stab herum geknetet wurde. Nach 30 Minuten langer Durchkältung wurde mit dem Versuch begonnen. Nach den Ergebnissen dieser Versuche wird Streckgrenze und Bruchgrenze durch die Abkühlung gehoben. Die Erhebung der Streckgrenze ist im allgemeinen bei — 20° verhältnismäßig gering gegenüber derjenigen bei — 80°. Die Bruchgrenze hingegen wird durch Abkühlung auf — 20° verhältnismäßig mehr als bei — 80° beeinflußt. Bruchdehnung δ nimmt nach den genannten Ergebnissen mit einer Ausnahme (Hammereisen, ein geschmiedetes Schweißeisen) durch Abkühlung ab. Mit anderen Worten also: Eisen wird durch Abkühlung unter Null im allgemeinen spröder, weniger formänderungsfähig. Auch bei den Schlagversuchen büßte das Material an Formänderungsfähigkeit beim Stauchen um so mehr ein, je tiefer es abgekühlt wurde. Bei der Biegeprobe zeigte sich die Biegegröße bei — 20° nur wenig, bei — 80° indessen stärker beeinflußt. Die von Rudeloff angegebenen Werte schwanken für

die Erhebung der Streckgrenze

bei — 20° zwischen 1,1 bis 5,9%,
bei — 80° zwischen 3,2 bis 23,8%,

die Erhebung der Bruchgrenze
bei — 20° zwischen 2,2 bis 9,1 %,
bei — 80° zwischen 6,1 bis 11,9 %,
die Verminderung der Bruchdehnung
bei — 20° zwischen 1,5 bis 12,5 %,
bei — 80° zwischen 5,2 bis 31,9 %
(beim Hammereisen Zunahme bei — 80° = 9,4 %),
die Abnahme der Höhenverminderung durch Stauchen
bei — 20° zwischen 1 bis 14 %,
bei — 80° zwischen 15 bis 23 %.

Die Prozente sind bezogen auf die Festigkeitswerte bei Zimmerwärme.

c) Kupfer, Messing, Zink, Aluminium, Magnesium.

Über die übrigen als Konstruktionsmateriale seltener in Frage kommenden Metalle läßt sich vom versuchstechnischen Standpunkt aus nur wenig bemerken. Die Festigkeitsversuche mit ihnen unterscheiden sich in der Ausführung in nichts von den früher beschriebenen.

Kupfer mit einer Zugfestigkeit, die zwischen 2000—3800 kg/qcm schwanken kann, zeigt in der Regel keine Proportionalität und selten eine scharf ausgeprägte Streckgrenze. Es verändert wie das Eisen seine Festigkeitseigenschaften in der Wärme und durch Kaltbearbeitung ganz erheblich (Literatur hierzu s. S. 22). Auch für Kupfer hat Heyn die Überhitzungserscheinungen studiert und gefunden, daß schon bei verhältnismäßig kurzem Glühen oberhalb 500° die Sprödigkeit des Kupfers um so mehr erhöht wird, je höher der Glühgrad liegt. Bei Wärmegraden über 1000° tritt Überhitzung schon nach einer Glühdauer von 7 Minuten ein. Praktische Bedeutung gewinnt diese Eigenschaft beim Auflöten von *Flanschen* auf Kupferrohre, weil hierbei durch da

Schmelzen des Lotes Wärmegrade von 1000° in Frage kommen können. Die durch Überhitzung erzeugte Sprödigkeit kann beim Kupfer nicht wieder wie beim Eisen durch Wiedererhitzen beseitigt werden.

Die Legierungen des Kupfers, die Bronzen, in erster Linie das Messing, können im gegossenen und im gewalzten Zustande zur Prüfung kommen. Die Zugfestigkeit des Messings schwankt ebenfalls in weiten Grenzen (1600—3500 und mehr kg/qcm); es zeigt häufig Proportionalität, aber meist tiefliegende Proportionalitätsgrenze. Die Streckgrenze ist in der Regel gut ausgeprägt. Kaltbearbeitung bringt auch beim Messing ähnliche Wirkungen wie beim Flußeisen hervor. Die nachstehenden Ergebnisse, die bei den Übungen mit Studierenden der Technischen Hochschule im Materialprüfungsamt gewonnen wurden, lassen diese Beeinflussung der Festigkeitswerte außerordentlich deutlich hervortreten. Der besseren Übersicht halber sind die Werte für geglühtes, also spannungsfreies Messing = 100 und die Werte der beiden anderen Materialzustände dazu ins Verhältnis gesetzt.

	σ_S kg/qcm.	σ_B kg/qcm.	δ_{10} %.	q %.	σ_S/σ_B.
1. Messing geglüht bei 500—600° C	1690	3980	35	39	0.42
Werte =100 gesetzt	100	100	100	100	100
2. Das gleiche Messing im Anlieferungszustand	3380	4300	22	36	0.78
	200	109	63	92	186
3. Messing vorgestreckt. Probestab ist nach dem Bruch des Stabes zu 2 aus diesem herausgearbeitet. Material hat also starke Kaltbearbeitung erfahren.	5060	5180	1	13	0.98
	300	130	29	33	234

Nach dem Überschreiten der Streckgrenze kann man bei vielen Messingsorten, besonders wenn man Maschinen zur Prüfung benutzt, an deren Lastmessern man die Spannungssteigerung dauernd im Auge behalten kann (z. B. die Zeiger am Lastmesser der Pohlmeyer-Maschinen, s. I. S. 137), ein häufiges Stehenbleiben und Absinken des Zeigers der Lastmeßvorrichtung, also eine Wiederholung der eigentlichen Fließerscheinung (s. I. S. 17) beobachten. Man könnte diese Erscheinung damit erklären, daß Messing als Legierung mehrerer Gemengteile ein nicht vollkommen homogener Körper ist und infolgedessen Materialzonen mit verschieden hohen Streckgrenzen in dem Probestab enthalten sind, die eine nach der anderen überschritten werden. — Von den übrigen Metallen, die zu Festigkeitsversuchen seltener Veranlassung geben, sei noch erwähnt, daß sich beim Zink nach den Versuchen von Bauschinger mehr als bei allen übrigen Metallen der Einfluß der Streckgeschwindigkeit beim Zugversuch auf die Festigkeitswerte bemerkbar macht. Bei Eisen und Kupfer ist dieser Einfluß nicht festzustellen. Magnesium, dessen Verwendung als Konstruktionsmaterial man vor etwa zwei Jahrzehnten ins Auge faßte, aber wieder fallen gelassen hat, ist durch Martens hinsichtlich seiner Festigkeitseigenschaften eingehend geprüft worden (s. „Mitteilungen" 1887, I. Erg.-Heft). Danach neigt dieses Metall in besonders hohem Maße zu Nachwirkungserscheinungen (s. I. S. 19).

Über die Festigkeitseigenschaften von Aluminium und seinen Legierungen mit Kupfer und Eisen, den Aluminiumbronzen, hat Tetmajer in den „Mitteilungen aus dem Mechanisch-technischen Laboratorium am eidgenössischen Polytechnikum Zürich" 1900 umfangreiche Ergebnisse veröffentlicht.

2. Die Prüfung des Holzes.

Die vielseitige Verwendung dieses wichtigen Baustoffes gibt zu seiner Prüfung häufig Veranlassung, ohne daß es bisher erreicht worden wäre, diese Prüfungen auf einheitliche Grundlage zu stellen. Im Königl. Materialprüfungsamte sind eingehende Studien über die Holzprüfungen von Rudeloff ausgeführt worden und in den „Mitteilungen" 1899, S. 181 und 1901, S. 270 veröffentlicht.

In Anlehnung an die Rudeloffschen Arbeiten umfaßt die vollständige Untersuchung des Holzes:

1. Festigkeitsversuche im trockenen und getränkten Zustande;
2. Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes;
3. Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens;
4. Bestimmung der Veränderung des Rauminhaltes durch Schwinden und Quellen;
5. Bestimmung der Widerstandsfähigkeit gegen Faulen;
6. Bestimmung des spezifischen und des Raumgewichtes.

a) An Festigkeitsversuchen führt man Zugversuche, Druckversuche, Biege-, Scher- und Spaltversuche aus.

Für die Zugversuche, die selten zur Ausführung kommen, ist auch bei den Rudeloffschen Versuchen die von Bauschinger angegebene Form von Flachstäben gewählt worden. Probenform s. Fig. 2.

Für die Druckversuche werden würfelförmige oder prismatische Probekörper empfohlen. Die Druckrichtung soll mit der Faserrichtung, also der Längsrichtung des Stammes, zusammenfallen. Zur Ermittlung der Bruchfestigkeit verwendet man zweckmäßig Würfel, für die Ausführung elastischer Messungen (Bestimmung von σ_P, α, E s. I. 28), bei denen Feinmeßapparate (Spiegelapparate

von Martens, s. I. S. 143) am Probekörper angesetzt werden müssen, besser prismatische Proben mit quadratischem Querschnitt, deren Länge gleich der dreifachen Kantenlänge ist. Die Meßlänge für die Feinmessungen wird hierbei gleich der Kantenlänge, also gleich $^1/_3$ der ganzen Probenlänge gemacht und die Enden der Meßlänge beiderseits möglichst im gleichen Abstande von den Druckflächen gelegt; man erreicht durch diesen Abstand der Meßlänge von den Endflächen, daß ungleichmäßige Druckübertragungen, die auch bei sorgfältiger Herrichtung der Druckflächen nicht immer vermieden werden können, die Formänderungsmessungen innerhalb der Meßlänge tunlichst wenig beeinflussen. Die elastischen Messungen werden zweckmäßig auf der sogenannten Wölbfläche (tangential zu den Jahrringen) und auch auf der Spiegelfläche (senkrecht oder radial zu den Jahrringen, Jahrringe im Längsschnitt) vorgenommen. Auf die Bearbeitung der Druckflächen muß Sorgfalt verwendet werden; sie können mit dem Hobel bearbeitet oder auch sauber durch Sägeschnitt hergestellt werden.

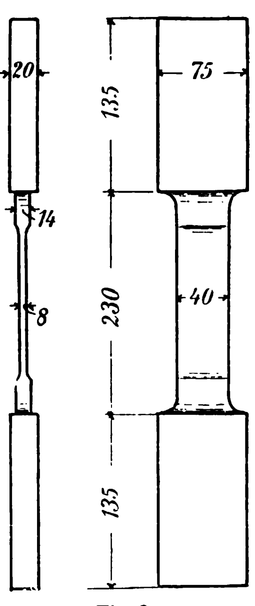


Fig. 2.
Holzflachstab für Zugversuche.

Da sich der Einfluß der Belastungsdauer, also der *Geschwindigkeit*, mit der die Formänderung vollzogen wird,

beim Holz schon bei niedrigen Spannungsstufen zu zeigen pflegt, so müssen, um Vergleichbarkeit der Messungsergebnisse überhaupt zu ermöglichen, über die Belastungsgeschwindigkeit Vereinbarungen getroffen werden. Rudeloff erachtet die Spannungssteigerung um 20 kg auf das Quadratzentimeter in der Minute für die geeignetste Geschwindigkeit.

Der Bruchverlauf beim Druckversuch pflegt in der Regel, wie in Fig. 3 dargestellt, zu erfolgen; die einzelnen Fasern knicken um, die Bruchlinie verläuft unter 45° gegen die Druckflächen geneigt, die beiden Hälften schieben sich gegeneinander ab. Voraussetzung für solchen regelrechten Bruchverlauf ist natürlich möglichst homogenes, d. h. in diesem Falle an Festigkeit nahezu gleichwertiges Holzmaterial. Die Quetschgrenze (Streck- oder Fließgrenze s. I. S. 18) pflegt mit der Bruchgrenze zusammenzufallen — Die Biegeversuche werden mit prismatischen Holz stäben (rechteckigen Querschnitts) so ausgeführt, daß d Probe mit beiden Enden auf Stützpunkten gelagert wi und eine Einzellast in der Probenmitte angreift (s. Fig. I. S. 74). Um die Verdrückung an den Auflager- u Druckübertragungsstellen zu vermeiden, werden Zwisch stücke aus geeignetem Material verwendet; an den A lagerstellen der Stabenden am besten ebene eiserne Pla *von einigen Millimetern* Dicke, deren Auflagerfl



Fig. 3.
Bruchverlauf beim Druckversuch mit Holz.

nach **Rudeloffs** Vorschlage gleich der Querschnittsfläche des Probestabes sein sollte; an der Druckübertragungsstelle verwendet man zweckmäßig ein Druckstück aus hartem Holz, für dessen Abmessungen vorgeschlagen sind: Breite = der Stabbreite, Länge = $^1/_{10}$ der Stützweite, Dicke = $^1/_8$ der Stabhöhe.

Für Vergleichsversuche ist zu beachten, daß die Druckrichtung immer in gleicher Richtung zu den Jahrringen des Holzes liegt. Es kommen nachstehende Belastungsrichtungen in Frage (s. Fig. 4, 5, 6):

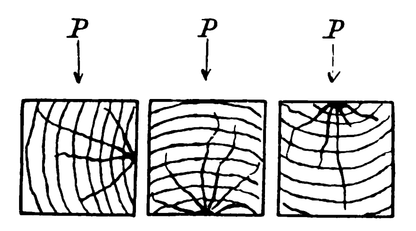


Fig. 4. 5. 6.
Belastungsrichtungen für Holzproben.

Für die Messung der Durchbiegungen verwendet man zweckmäßig die Rollenapparate nach **Bauschinger** (s. I. S. 149); die Beobachtung erstreckt sich auf die Feststellung der Proportionalitätsgrenze (I. S. 16), die meist nicht scharf ausgeprägt ist, und der Streckgrenze, die in der Regel mit der Bruchgrenze zusammenfällt.

Nach neueren Vorschlägen von **Rudeloff** sollten als Vergleichsmaßstab die Biegungsarbeiten bis zur Proportionalitäts- und bis zur Bruchgrenze, die nach dem im ersten Bändchen S. 58 beschriebenen Verfahren zu ermitteln wären, benutzt werden, wobei, um dem *Ähnlichkeitsgesetz* (s. I. S. 42) Rechnung zu tragen, die Arbeit auf

einen Normalbiegestab von 10×10 cm Querschnitt und 1,5 m Stützweite zu beziehen wäre.

Für den Scherversuch kommen ein- und zweischnittige Beanspruchungen (s. I. S. 82) in Frage. Zweckmäßig ist der Versuch mit einschnittiger Beanspruchung an prismatischen Proben, wobei die Scherrichtung der Faserrichtung folgt, der Kraftangriff also auf die Hirnfläche des Holzes ausgeübt wird. Voneinander abweichende Ergebnisse wird man erzielen, wenn man die Scherfestigkeit in der Wölbfläche, tangential zu den Jahrringen, oder in der Spiegelfläche, senkrecht oder radial zu den Jahrringen, ermittelt.

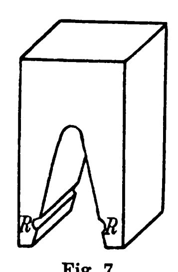


Fig. 7.
Spaltproben mit Holz.

Die Spaltfestigkeit wird in der Regel an Proben nach dem Vorschlage von Nördlinger (s. Fig. 7) als diejenige Belastung festgestellt, die erforderlich ist, um die beiden Schenkel auseinanderzureißen. Die Kraft greift hierbei in den Nuten R an.

b) Der Feuchtigkeitsgehalt, der die Ergebnisse der Festigkeitsversuche beeinflußt, wird zweckmäßig an den Festigkeitsproben selbst oder an Scheiben, nach Rudeloff von 2—5 cm Dicke, die tunlichst in der Nähe der Bruchstelle entnommen werden sollen, bestimmt. Als Feuchtigkeitsgehalt gibt man die Gewichtsabnahme durch Trocknen in Prozenten bezogen auf das Trockengewicht an. Das Trocknen geschieht am besten in einem Trockenschrank bei 90° C bis zum Gleichbleiben des Gewichtes.

c) Für die Feststellung des Wasseraufnahmevermögens werden die Holzproben mit den Hirnflächen in *Wasser getaucht* und nach und nach immer mehr unter *Wasser gebracht*. Den Vergleichsmaßstab bildet die Wasser-

zunahme, nach Erreichung des gleichbleibenden Gewichtes, bezogen auf das Lufttrockengewicht.

d) Die Veränderung des Rauminhaltes durch Schwinden und Quellen in der Faserrichtung, senkrecht und tangential zu den Jahrringen, bestimmt man entweder an Meßlängen, die auf den sechs Flächen einer prismatischen Probe durch Strich- oder Körnermarken abgegrenzt werden, oder durch Ausmessung der Gesamtabmessungen dieser Flächen.

e) Um den Widerstand des Holzes gegen Faulen durch schnell auszuführende Versuche festzustellen, bedarf es noch des Vorschlages eines geeigneten Versuchsverfahrens. Man ist bisher noch auf Versuche von langer Dauer angewiesen, bei denen man das Verhalten von in den Erboden eingerammten Holzpfählen beobachtet.

f) Das Raumgewicht bestimmt man entweder durch Feststellung des absoluten Gewichtes (entweder im trocknen, lufttrocknen oder im grünen Zustande) und Ausmessung des Rauminhaltes der Probe, oder mit Hilfe der Eintauchverfahren unter Verwendung sogenannter Xylometer (das bekannteste ist das von Friedrich angegebene), Apparate, in denen die Wasserverdrängung durch die eingetauchte Holzprobe unmittelbar bestimmt werden kann.

g) In bezug auf den Dichtigkeitsgrad des Holzes, d. h. den Quotienten $\mathfrak{d} = \frac{r}{s}$ (Raumgewicht durch spezifisches Gewicht), sei hier nochmals auf die schon im ersten Bändchen Seite 23 erwähnten Druckversuche von Martens mit allseitig eingeschlossenen, also an Querschnittsvergrößerung behinderten Holzzylindern verwiesen. Die Versuche zeigen, daß alle Holzarten bei dieser Beanspruchung schließlich nahezu das spezifische Gewicht der *Zellulose, gleich* 1,5, annehmen. Der Dichtigkeitsgrad

der Holzarten verläuft nahezu parallel mit ihren Festigkeitseigenschaften. Hölzer mit kleinem Dichtigkeitsgrade weisen auch geringe Festigkeiten auf.

3. Prüfung einiger Hilfsmaterialien des Maschinenbaues.

Unter diesen kommen die Treibriemen und die Hanf- und Drahtseile in Frage.

a) Als Treibriemen verwendet man Lederriemen, Baumwoll-, Hanf-, Haar- (Kamelhaar-) und Balatariemen (imprägnierte Baumwolltuchriemen). Es würde zu weit führen, auf Bau und Eigentümlichkeiten der einzelnen Riemenarten einzugehen. In den „Mitteilungen" 1892, S. 255 und 1893, S. 4 sind von Rudeloff die Ergebnisse umfangreicher Versuche veröffentlicht, die besonders auch über die Beziehungen zwischen Bau und Festigkeitseigenschaften der verschiedenen Riemensorten Aufschluß geben.

Die Prüfung der Riemen erstreckt sich hauptsächlich auf die Ermittlung der Reißlänge (s. I. S. 11), derjenigen Belastung, unter der der Riemen, an einem Ende frei aufgehängt, unter seinem Eigengewicht abreißen würde. Man bestimmt also vor dem Versuch das Metergewicht und dividiert mit diesem in die an der Zerreißmaschine gemessene Bruchbelastung, um die Reißlänge in Metern zu erhalten. Im Materialprüfungsamte werden die Versuche mit Proben von 1,5 m Länge meist an der Maschine Bauart Werder (s. I. S. 135) vorgenommen. Für die Einspannung der Probenenden finden die Vorrichtungen von Martens nach Fig. 8 („Denkschrift" S. 322) mit gutem Erfolg Verwendung, weil höchstselten Brüche der Riemen innerhalb der Einspannungen erfolgen. Die Einspannung hat beim Zugversuch mit Riemen nicht unerheblichen Einfluß, wenn die Vorrichtung nicht gleichmäßige Ver-

teilung der Belastung über den ganzen Querschnitt des Riemens bewirkt oder dessen Querzusammenziehung verhindert. Neben der Reißlänge werden beim Zugversuch mit Riemen die elastischen Eigenschaften fast regelmäßig durch Dehnungsmessungen beobachtet. Die Dehnung wird auf eine Meßlänge von 1 m mit Hilfe eines Anlegemaßstabes mit Millimeterteilung gemessen.

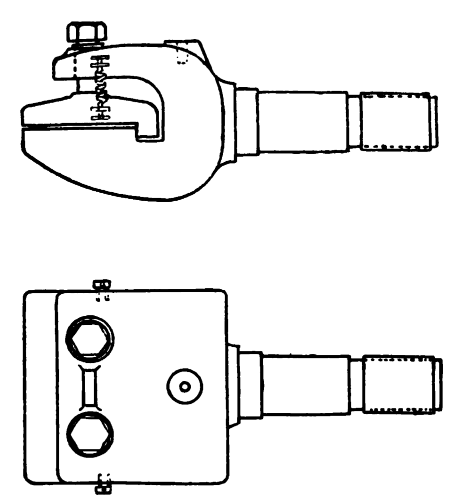


Fig. 8.
Einspannung für Zugversuche mit Riemen nach Martens („Denkschrift" S. 322).

Lederriemen pflegen sich hinsichtlich ihrer elastischen Eigenschaften ähnlich wie Gußeisen zu verhalten, indem sie für bestimmte Spannungsbereiche aus dem zunächst unelastischen in den elastischen Zustand übergeführt werden können, wenn sie innerhalb zweier Span-

nungsgrenzen mehrere Male hintereinander be- und entlastet werden. Die nachfolgenden Ergebnisse, die bei einem solchen Versuch in den Übungen mit Studierenden im Königl. Materialprüfungsamte gewonnen wurden, lassen diese Eigenschaft deutlich erkennen.

Man ersieht aus den Zahlen, daß sich der elastische Zustand, gekennzeichnet durch gleichbleibende Werte $\Delta\,\varepsilon$

Spannung gewechselt zwischen kg/qcm	5 u. 15	15 u. 25	25 u. 50
$\Delta\,\varepsilon$ in $^1/_{10000}$ cm für den mehrmaligen Lastwechsel (Werte für Belastungen linksstehend, für Entlastungen rechtsstehend)	139 82 87 78 ——— 81 83 87 80 81 79 82	97 49 ——— 58 56 59 54 56	196 99 110 97 103 ——— 93 98 95 100
Mittleres elastisches $\Delta\,\varepsilon$ (Mittel aus den Zahlen unter dem Querstrich)	81	57	97
$\alpha = \frac{\Delta\,\varepsilon}{\Delta\,\sigma}$ in $^1/_{1000000}$ cm	810	570	390
$E = \frac{1}{\alpha}$	1234	1750	2560

für Be- und Entlastung, erst nach mehrmaligem Belastungswechsel einstellt, und daß ferner, wenn die Spannung weiter vergrößert wird, zunächst wiederum unelastischer Zustand besteht. Die als Quotient $\frac{\varepsilon}{\sigma}$ zu errechnenden Dehnungszahlen α und deren reziproke Werte $\frac{1}{\alpha} = E$ sind für die einzelnen Spannungsbereiche verschiedene. Mit wachsender Spannung nehmen die Werte für α ab, die E-Module entsprechend zu, im Anfange mehr, bei höheren Spannungen weniger. Es ist hiernach durchaus begründet, wenn man im Maschinenbetriebe nur gut vorgestreckte, d. h. möglichst elastische Lederriemen verwendet; nicht vorgestreckte würden schon bei geringen Arbeitsübertragungen sehr bald erhebliche bleibende Verlängerungen erfahren.

Nach den erwähnten Rudeloffschen Veröffentlichungen schwanken die Zugfestigkeiten für Leder zwischen 150—360 kg/qcm, die Reißlängen zwischen 1750—4570 m. Durch Eichenlohgerbung sollen im allgemeinen bessere Festigkeiten gegenüber anderen chemischen Gerbverfahren erzielt werden. Nach Lage in der Haut ist Leder aus den Mittelstücken am festesten, Schwanzstücke haben geringste Festigkeit. Das Dehnungsvermögen der Häute nimmt vom Kopfe der Tiere nach dem Schwanze zu ab. Mit zunehmender Lederdicke ergeben sich geringere Reißlängen.

Baumwollriemen ergeben Zugfestigkeiten von 350 bis 540 kg/qcm, Reißlängen von 3300—6100. Hanfriemen weisen in den Festigkeiten große Verschiedenheiten auf. Die von Rudeloff gefundenen Werte schwanken zwischen 340—970 kg/qcm und 5000 —10000 m Reißlänge. F

Haarriemen wurden gefunden 275—400 kg/qcm, 2500 bis 3700 m Reißlänge, für Balatariemen 455—590 kg/qcm und 4300—6100 m Reißlänge.

b) Bei der Prüfung der Seile, der Hanf- und der Drahtseile, pflegt man wiederum die Reißlänge (s. S. 34) als Vergleichsmaßstab heranzuziehen, weil die Feststellung der Querschnittsabmessungen Schwierigkeiten bietet. Für

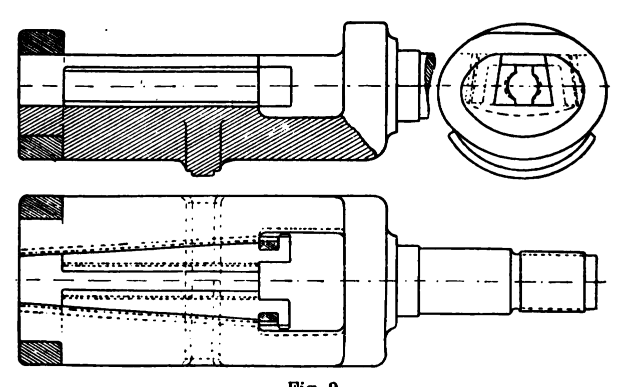


Fig. 9.
Einspannung für Zugversuche mit Seilen nach Martens („Denkschrift“ S. 321).

die Ausführung der Zugversuche mit Seilen im Materialprüfungsamte wird ebenfalls die Werdermaschine (s. I. S. 135) benutzt, wobei Einspannungen von Martens mit Kortümschen Keilen nach Fig. 9 („Denkschrift“ S. 321) Verwendung finden. Diese Vorrichtungen haben sich gut bewährt, da die Seile zumeist im freien Teil reißen. Die Beißkeile haben schwache Verzahnung und sind so geformt, daß ihre Angriffsflächen dem Keildurchmesser angepaßt sind und die Reibung zwischen dem Seil und den Keilen nach dem Seilende hin allmählich zunimmt.

die einzelnen Seildrähte oder Garne können daher an diesen Stellen unter der Zugspannung schwerer Formänderungen annehmen, als im freien, nicht eingespannten Teil des Seiles, wo sie mit wachsender Zugspannung sich ungehindert dehnen und somit eher zum Bruch kommen können. Um zu verhindern, daß die Beißkeile aufeinander zur Auflage kommen, ehe das eingespannte Seil genügend fest gefaßt ist, werden die Zwischenräume zwischen den einzelnen Windungen (Duchten) der Seillitzen bei den Drahtseilen mit Bändseldraht, bei den Hanfseilen mit Hanfschnur ausgelegt. Besonders dünne Drahtseile und gelegentlich auch Hanfseile werden zur Einspannung für den Zugversuch mit den Enden in konischen gußeisernen Hülsen mit Metalllegierungen eingegossen. Im Materialprüfungsamte wird zum Einguß der Hanfseile die Rosesche Legierung (1 Zinn, 1 Blei, 2 Wismut), die in kochendem Wasser geschmolzen werden kann, für Drahtseile eine Bleizink-Legierung verwendet. Die Enden der Drahtseile werden zu diesem Zwecke auf eine Länge von 80—100 mm von den Seilenden mit Bindedraht fest umwickelt, um Aufreifeln des Seiles zu verhindern. Die Seilenden werden dann bis zu der abgebundenen Stelle aufgereifelt, die einzelnen Drähte gerichtet, unverzinkte Drähte gereinigt, in verdünnter Säure geätzt und dann in der konischen Einspannbüchse mit der Legierung vergossen. Rudeloff macht in den „Mitteilungen“ 1889, S. 128 darauf aufmerksam, daß sich bei diesem Verfahren der Einfluß der beim Eingießen unvermeidlichen Erwärmung der Seildrähte häufig dahin äußert, daß die Seile in der Eingußstelle reißen, weil die Seildrähte durch die dem Ausglühen nahekommende Erwärmung weicher, formänderungsfähiger *gemacht würden* und daher stärker einschnüren, als das

Material im freien Teil des Seils. Man kann dem etwas vorbeugen, wenn man die Seilenden mit den Büchsen sofort nach dem Einguß in kaltem Wasser abschreckt.

Neben der Reißlänge ermittelt man beim Zugversuch mit Seilen die elastischen und bleibenden Längenänderungen bei bestimmten Belastungsstufen mit Hilfe von Anlegemaßstäben mit Millimeterteilung. Im Materialprüfungsamte werden die Belastungen, bei denen Längenänderungen festgestellt werden, in nachstehender Reihenfolge angehoben, wobei als Null- oder Anfangsbelastung, mit der das Seil in der Maschine gespannt wird und bei der die Anfangsablesungen am Anlegemaßstab gemacht werden, $^1/_6$ der Nutzlast N eingestellt wird. Die Nutzlast errechnet sich für geteerte Hanfseile zu $^1/_6$, für ungeteerte Seile zu $^1/_8$, für Drahtseile zu $^1/_{10}$ der voraussichtlichen, erfahrungsgemäß zu erwartenden Bruchlast. Die Reihenfolge der Belastungsstufen ist dann folgende:

$^1/_6 N$. $^1/_3 N$. $^1/_6 N$. $^1/_3 N$. $^2/_3 N$. $^1/_6 N$.
$^2/_3 N$. N. $^1/_6 N$. N. $2 N$. $3 N$.
$4 N$. usf. bis zum Bruch.

Man arbeitet im Materialprüfungsamte in der Regel mit einer Meßlänge von 1 m und mit Probenlängen von 1,5 m. Für Drahtseile ist die Probenlänge im allgemeinen ohne Einfluß auf die Versuchsergebnisse, für Hanfseile hingegen ist sie nach Rudeloff (Mitteilungen 1893, S. 89) von erheblicher Bedeutung für den Ausfall der Reißlänge. Er empfiehlt als zweckmäßigste Versuchslänge eine solche von 1,5 m, und zwar aus nachstehenden Gründen.

Bei der praktischen Benutzung der Seile im Betriebe kommt als Seilfestigkeit nur der Reibungswiderstand zur Geltung, der das Verschieben und Gleiten der Garnfäden

gegeneinander zu verhindern sucht und den man durch die Seilkonstruktion, den Drall der Fäden, das Zusammendrehen der Garne zu Litzen und mehrerer Litzen zum Seil möglichst groß zu bemessen bestrebt ist. Will man also diese für die praktische Benutzung der Seile in Frage kommende Festigkeit auch durch den Zugversuch ermitteln, so darf man die Versuchslänge nicht so klein bemessen, daß einzelne Garnfäden etwa an ihren beiden Enden von den Einspannungen gefaßt werden. In diesem Falle würde nämlich die Seilfestigkeit nicht von dem Reibungswiderstande der Fäden aneinander, sondern von deren Zugfestigkeit abhängig werden.

Die nachstehenden, von Rudeloff angegebenen Verhältniszahlen lassen diesen Einfluß der Versuchslänge bei Hanfseilen deutlich erkennen. Die Werte für die Reißlängen sind für 3 m Versuchslänge gleich 100 gesetzt:

Versuchslänge m:	3,0	1,5	1,0	0,5	0,25
Reißlänge:	100	104	107	123	134

Viel Interesse bietet auch die Feststellung, wieviel Prozent der Garnfestigkeit nach der Herstellung des Seiles aus diesen Garnen im Seil zur Ausnutzung kommen, in welchem Verhältnis also die Reißlänge des Seiles zur Summe der Reißlänge aller zu seiner Herstellung verwendeten Garne steht. Man ermittelt hierfür die Reißlänge des Garnes, die Anzahl der Garne, bestimmt danach aus dem Produkte beider die rechnerisch sich ergebende Gesamtreißlänge des Seiles und stellt dieser die durch den Zerreißversuch mit dem ganzen Seil ermittelte Reißlänge gegenüber. Nach Rudeloff schwanken die Werte für diese Materialausnutzung beim Seilen in weiten Grenzen; bei seinen umfangreichen Versuchen mit zahlreichen Seilkonstruktionen aus den verschiedensten Rohmaterialien fand er, daß nur wenige Seile Verhältniszahlen über 100%

(also günstiger im Seil denn als Rohmaterial) aufweisen; die Zahlen gehen bis auf 31,5 % herunter.

Für die Prüfung des Rohmaterials der Drahtseile kommen, wie schon im ersten Bändchen S. 112 erwähnt, Zugversuche mit dem Drahtmaterial (in der Regel sehr hartes Material mit Festigkeit zwischen 120—180 kg/qmm), sowie Hin- und Herbiegeproben und Verwindungsproben in Frage. Auch bei den Drahtseilen bietet die Feststellung der Materialausnutzung beim Verseilen Interesse.

c) Neben den hier beschriebenen Prüfungsverfahren mit Metallen und Hilfsmitteln der Maschinenbautechnik usw. treten an die Metallprüfungsabteilungen öffentlicher Prüfungsstellen, in denen vorzugsweise Festigkeitsprüfungen ausgeführt werden, oft noch andere Aufgaben heran, deren Lösung dem jeweiligen Verwendungszweck der betreffenden Prüfungsgegenstände angepaßt werden muß und über die an dieser Stelle wenig zu sagen ist. Erwähnt seien noch:

1. Zugversuche mit Ketten, die im Materialprüfungsamte gewöhnlich mit 3 oder 5 Gliedern der Kette ausgeführt werden. Die beiden äußeren Glieder werden in den Einspannungen festgelegt; die Längen- und Breitenänderungen der Kettenglieder werden bei bestimmten Belastungsstufen entweder durch Anlegemaßstäbe oder durch Ausmessen von mit Körnermarken begrenzten Längen mittels Abgreifzirkels festgestellt.
2. Die Prüfung von Eisenbahnmaterialien, Schienen, Radreifen, Achsen usw., die zumeist nach den von den Eisenbahnverwaltungen erlassenen Vorschriften durch Schlagversuche unter einem 10 m-Fallwerk mit Bären von 600—1000 kg Gewicht *erfolgt.*

3. Die Prüfung von Stahlflaschen, Rohren, Schläuchen usw. auf inneren Wasserdruck nach den im ersten Bändchen S. 114 beschriebenen Verfahren.

II. Prüfung der Baumaterialien.

Die Baumaterialprüfung umfaßt die Prüfung der natürlichen und künstlichen Bausteine, der Bindemittel, der Zuschlagstoffe und die Prüfung ganzer Baukonstruktionen. Die Baustoffprüfung ist naturgemäß einer der ältesten Zweige der Materialprüfung; zweifellos hat man Baustoffe schon von alters her geprüft. Einheitliche Prüfungsverfahren auf wissenschaftlicher Grundlage sind indessen erst eine Errungenschaft der letzten Jahrzehnte; ihre Festsetzung beschränkt sich auch nur auf die Prüfung der Portlandzemente, für die auf die Anregungen der beteiligten Interessengruppen hin (Verein deutscher Portlandzement-Fabrikanten und frühere Königl. Prüfungsstation für Baumaterialien, jetzige Abteilung für Baumaterialprüfung im Königl. Materialprüfungsamte) die „Normen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement“ von den preußischen Ministerien für Handel und Gewerbe und der öffentlichen Arbeiten festgesetzt wurden und auch außerhalb Preußens allgemeine Anerkennung gefunden haben. Weiter ist die Vereinheitlichung leider trotz vieler dahingehender Bestrebungen noch nicht gediehen, obgleich gerade die Baustoffe, die mannigfachen Beeinflussungen ihrer Eigenschaften unterliegen, der Festsetzung bestimmter Prüfungsverfahren kaum entbehren können, wenn die Versuchsergebnisse nur einigermaßen Maßstäbe für die Beurteilung dieser Materialien sein sollen. Indessen haben sich

die durch die Normen festgesetzten Prüfungsverfahren zum größten Teil auch auf die Prüfung der übrigen Bindemittel übertragen, und für die sonstigen Baustoffe sind nach und nach bestimmte Verfahren hauptsächlich an den öffentlichen Prüfungsstellen ausgebildet worden, die weitere Verbreitung gefunden haben. Jedenfalls ist auf diesem Gebiete das Streben nach Vereinheitlichung erheblich leichter zu verwirklichen als bei der Metallprüfung, deren vielgestaltige Prüfungspraxis in den voraufgehenden Abschnitten beschrieben wurde.

Das gesamte Gebiet gliedert sich in:

1. Prüfung der natürlichen und künstlichen Baustoffe,
2. Prüfung der Bindemittel und Zuschläge und daraus hergestellter Mörtel,
3. Prüfung der Konstruktionen und besonderer Gebrauchsmaterialien (Zement und Tonrohre).

1. Prüfung der natürlichen und künstlichen Baustoffe.

Zu den natürlichen Bausteinen zählt man die Granite, Basalte, Kalksteine, Sandsteine usw., zu den künstlichen hingegen die gewöhnlichen Tonziegel, die neuerdings viel verwendeten Kalksandsteine, die Zementsteine, Schlackensteine, den Beton, ferner die Dachdeckstoffe, insbesondere Dachziegel und andere Dachdeckungen (außer Schiefer), die Pflastermaterialien und Fußbodenbeläge, wie Holz, Asphalt, Ton- und Zementplatten, Linoleum und sogenannte fugenlose Fußbodenbeläge (Pergament, Xylolith, Papyrolith usw.), und schließlich die feuerfesten Baustoffe, die Schamottesteine und feuerfesten Tone.

Die für die Prüfung dieser Baustoffe in Frage

kommenden Verfahren können Festigkeitsversuche, physikalisch-technologische und chemische Prüfungen sein.

a) Die Festigkeitsversuche.

Die Festigkeitsversuche erstrecken sich meist auf die Ermittlung der Druckfestigkeit, seltener kommt die Zug-, Biege-, Stoß- und Scherfestigkeit in Frage.

Für die Ausführung der Festigkeitsversuche werden zumeist die im ersten Bändchen auf S. 134 beschriebenen oder ähnliche Festigkeitsprobiermaschinen benutzt, deren Leistungen entsprechend den in Frage kommenden Materialfestigkeiten hohe sein müssen (150—400 Tonnen), und für die in Rücksicht auf die große Ungleichförmigkeit der Baustoffe ein Genauigkeitsgrad der Lastanzeige von $\pm$ 2,5 % durchaus ausreichend ist. Unterschiede in der Ausführung der Festigkeitsprüfungen der einzelnen Baustoffgruppen bestehen in der Regel nur in Form und Herrichtung der Proben für den Versuch.

Die Festigkeitsversuche mit natürlichen Gesteinen beschränken sich auf die Ermittlung der Druckfestigkeit an würfelförmigen Probekörpern von 4—7 cm Kantenlänge (weichere Gesteine, wie Sandsteine usw., Würfel mit 5—6 cm, Hartgesteine, Würfel von 4 cm Kantenlänge).

Die Proben werden aus den Gesteinsblöcken mit Hilfe von Gattersägen, deren Blätter mit Diamantsplittern besetzt sind, zunächst als prismatische Streifen herausgearbeitet, auf Kreissägen dann unter Zusatz von Diamantpulver in würfelförmige Stücke geschnitten, die, wenn nötig, schließlich auf Schleifscheiben ebene und parallele Druckflächen erhalten.

Die künstlichen Bausteine, die Ziegel, Kalksand-

steine, Zement- und Schlackensteine, prüft man gleichfalls in erster Linie auf Druckfestigkeit, wozu die Probekörper dadurch hergestellt werden, daß die $^4/_4$ Vollziegel in einer Gattersäge mit Stahlblättern unter Zusatz von Schneidmitteln, wie Diamantin usw., senkrecht zur Längsachse in zwei gleiche Hälften zerschnitten und die beiden Hälften dann mit reinem Zement aufeinander gemauert werden. Die beiden Endflächen der so entstandenen würfelähnlichen Körper werden durch Auftragen von Zementmörtel 1 : 1 so abgeglichen, daß ebene und parallele Druckflächen entstehen.

Soll festgestellt werden, ob die Ziegel bestimmtem Mörtel geeignete Haftflächen bieten, also die Haftfestigkeit von Mörtel an Mauersteinen ermittelt werden, so führt man Zugversuche mit zwei kreuzweise aufeinandergemauerten Steinen aus, wobei die Zugkräfte die Steine voneinander abzureißen streben. Seltener kommen Biegeversuche mit Auflage des Probekörpers an beiden Enden und Belastungsangriff in der Mitte (s. I. S. 74) in Frage.

Festigkeitsversuche mit Beton haben mit der in den letzten Jahren enorm gesteigerten Verwendung dieses Baustoffes erheblich an Bedeutung und Häufigkeit zugenommen. Man bestimmt hauptsächlich die Druckfestigkeit, wobei man große Würfelkörper meistens mit 30 cm Kantenlänge benutzt. Besonders die Betonprüfung bedarf weitestgehender Festsetzungen und Vereinbarungen in bezug auf Probenform, Probenherstellung, Probenaufbewahrung, Alter der Proben usw., wenn vergleichbare Ergebnisse erzielt werden sollen. Die neuerdings vom deutschen Betonverein aufgestellten „Leitsätze für die Vorbereitung, Ausführung und Prüfung von Bauten aus Stampfbeton“ mit besonderem Anhang, betreffend die Anfertigung der Probekörper, sind eine erfreuliche Folge der 'trebungen nach Vereinheitlichung der Betonprüfung.

In dem neuerschienenen Beton-Kalender [Berlin 1906, Ernst u. Sohn] definiert Burchartz Beton wie folgt: Beton besteht aus einem mehr oder minder grobkörnigen Gerippe von Steinstücken, dessen Zwischenräume durch ein mehr oder minder plastisches, später erhärtendes Bindemittel (Mörtel) ausgefüllt sind, im Gegensatz zu Mörtel, der ein Gerippe aus mehr oder minder groben Sandkörnern mit dazwischenliegendem Bindemittel (Zement) bildet. Das Betongemisch kann in den verschiedensten Mischungsverhältnissen hergestellt werden und zeigt dementsprechend auch verschiedene Festigkeitsergebnisse. Im Königl. Materialprüfungsamte werden die gewöhnlichen Betonproben in der Weise hergestellt, daß das Gemisch der Rohmaterialien in einer Mischmaschine, der Mörtel in sogenanntem erdfeuchten, der Steinschlag in gut genäßtem Zustande tüchtig durchgemischt und dann mit Hilfe von eisernen Stampfern, die gleichfalls einheitliche Form und Gewicht haben, in eisernen Formkästen so lange eingestampft werden, bis die Betonmasse deutlich Wasser absondert. Die Proben bleiben dann in der Regel 24 Stunden in den Formkästen und lagern nach der Entformung in der vom Antragsteller gewünschten Weise (an der Luft — im Freien oder im Zimmer — unter feuchtem Sand oder unter Wasser), um nach der vorgeschriebenen Erhärtungsdauer (7 Tage, 28 Tage, 3 Monate, $^1/_2$ Jahr, 1 Jahr usw.) der Prüfung auf Druckfestigkeit unterworfen zu werden. Der Einfluß der Eigenschaften der Rohstoffe, des Mischungsverhältnisses, der Art des Mischens, des Zustandes der Mischung (ob erdfeucht oder naß), der Frische des Betongemisches, der Art der Probenherstellung und des Stampfens, der Größe der Probekörper, der Art und Dauer der Erhärtung auf die Versuchsergebnisse ist ein ganz gewaltiger. *Burchartz* hat in den „Mitteilungen“ aus den techn.

Versuchsanstalten 1903, Heft 3 lehrreiche Versuchsergebnisse von Betonprüfungen, insbesondere über den Einfluß der Körperform, veröffentlicht, auf die Interessenten verwiesen werden. Interessant ist das elastische Verhalten von Beton, das ähnlich demjenigen von Leder ist. Innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen ist er zunächst nicht vollkommen elastisch, wird aber schließlich nach mehrmaliger Be- und Entlastung zwischen den Grenzen dieses Spannungsbereiches in den vollkommen elastischen Zustand übergeführt. Wird die Belastung über diese Grenze dann weiter gesteigert, so stellt sich vollkommene Elastizität wieder erst nach mehrmaliger Be- und Entlastung ein; diese Erscheinung kann bis zu Spannungen beobachtet werden, die schließlich die Bruchspannung erreichen.

Ermittlung der Zugfestigkeit an 8-förmigen Proben mit 400 qcm Zerreißungsquerschnitt, der Biege-, Dreh- und Scherfestigkeit von Beton wird hier und da, aber nicht als regelmäßige Prüfung in Frage kommen.

Festigkeitsprüfungen mit Dachdeckstoffen, also mit Tondachsteinen (Biberschwänze, Falzziegel), mit Zementdachsteinen, umfassen gewöhnlich Druckversuche mit herausgearbeiteten, würfelförmigen Probekörpern, soweit sich solche aus diesen Materialien herstellen lassen, ferner Biegeversuche mit Dachsteinen und Schiefer. Die Dachsteine, die meistens unebene Auflageflächen haben, werden für die Biegeversuche an den Auflagerstellen mit Zementleisten von etwa 1 cm Breite aus reinem Zement versehen. In gleicher Weise wird auch in der Mitte der Platte zur Kraftübertragung eine solche Zementleiste angebracht. Als Gütemaßstab kann nur die absolute Bruchbelastung herangezogen werden, weswegen die Ergebnisse bei den verschiedenen Formen schwer miteinander vergleichbar sind. Ebene, plattenförmige Körper werden

ohne diese Zementleisten geprüft. Ihre Biegefestigkeiten werden, bezogen auf das qcm, nach der Formel $\frac{Pl}{4W}$ (s. I. S. 76) berechnet.

Dachpappen nagelt man zur Prüfung ringsum auf Holzrahmen auf, so daß freitragende Platten von 30×30 qcm Fläche entstehen. Die Belastung erfolgt durch einen Holzstempel, der in der Mitte der Probe aufgesetzt wird, dessen untere Druckfläche nach 25 mm Radius abgerundet ist und auf den die Belastungsgewichte aufgesetzt werden. Bei bestimmten Belastungsstufen werden die Durchbiegungen der Pappe gemessen.

Dachdeckstoffe unterzieht man häufig auch der Prüfung auf Stoßfestigkeit, indem man ein Fallgewicht — im Königl. Materialprüfungsamte birnenförmige Eisenkörper (Gewichte 5, 2, 1, und $^1/_2$ kg), deren untere Fläche nach bestimmten Radius abgerundet ist (Radius = 45, 32, 26, 20 mm) — aus bestimmter Höhe auf diejenige Seite der Probekörper fallen läßt, die auch bei der Verlegung der Dachdeckmaterialien nach außen zu liegen kommt. Man ermittelt als Gütemeßstab hierbei entweder den Stauchfaktor (s. I. S. 89), d. h. diejenige Schlagarbeit, unter der der Probekörper mit einem Schlage zu Bruche kommt, oder die Anzahl von Schlägen mit bestimmter Schlagarbeit (Fallhöhe $\times$ Bärgewicht), die den Bruch herbeiführt. Die Versuchskörper selbst (Dachziegel usw.) werden bei Ausführung dieser Schlagversuche in einem Kasten auf fest eingerütteltem, gesiebtem Sand aufgelegt. Pappen werden, wie beim Druckversuch, auf Holzrahmen aufgenagelt.

Fußbodenbelagstoffe und Pflastermaterialien werden außer den gewöhnlichen Festigkeitsversuchen (Druck- und Biegefestigkeit) auch Versuchen zur Ermitt-

lung der Widerstandsfähigkeit gegen Eindrücke unterworfen, die unter der Einwirkung ruhender, längere Zeit ausgeübter Belastung (in der Praxis Belastung durch schwere Möbelstücke, Geldschränke, Klaviere usw.) hervorgerufen werden. Man läßt hierbei die Belastungen von bestimmter Größe mehrere Tage lang wirken und beobachtet die eintretende Verdrückung oder etwaige Zerstörung.

Auch die Widerstandsfähigkeit gegen Raddruck, d. h. die Belastung unter Verwendung eines Stückes Radkranz als Druckübertragungskörper, wird hier und da, besonders bei Glasplatten, Asphalt usw., ermittelt.

Für die Prüfung des Linoleums kommen an Festigkeitsversuchen Zugversuche mit herausgeschnittenen Probestreifen oder Biegeproben in Frage. Bei letzteren werden Streifen von 20 cm Länge und 5 cm Breite mit der Gewebeseite nach unten um Holzdorne verschiedenen Durchmessers (45, 40, 35, 30, 25, 20, 15, 10 mm) herumgebogen und beobachtet, ob sich Öffnungen oder Risse zeigen, die sich klaffend erweitern und Bruch der Oberfläche herbeiführen können.

Mit allen Baustoffen, natürlicher oder künstlicher Art, die bei ihrer Verwendung für Bauwerke atmosphärischen Einflüssen, dem Wasser und dem Frost ausgesetzt werden, führt man in der Regel die beschriebenen Festigkeitsversuche in drei verschiedenen Materialzuständen, im trockenen, wassersatten und im ausgefrorenen Zustande aus, da ein anderes Verfahren zur Prüfung der Bausteine auf Wetterbeständigkeit bisher noch nicht angegeben worden ist. In trockenen Zustand werden die Proben durch Erwärmen im Trockenschranke bei etwa 50° C bis zum Gleichbleiben des Gewichtes gebracht.

Um sie wassersatt zu machen, taucht man die

Proben zunächst bis zur halben Länge, nach und nach immer mehr in Wasser ein, bis gleichbleibendes Gewicht erzielt wird, was nach Gary meistens in längstens 125 Stunden erreicht wird. Man verwendet hierzu zweckmäßig destilliertes Wasser, damit Verunreinigungen, die im gewöhnlichen Wasser enthalten sind, sich nicht in den Poren der Probekörper festsetzen. Dadurch, daß der Stein nicht vollständig unter Wasser getaucht wird, sondern mit einem Teil über der Wasseroberfläche herausragt, erreicht man, daß das Wasser durch Kapillarwirkung vom Stein angesaugt wird und die Luft aus den Poren sicher verdrängt wird.

Für die Prüfung im ausgefrorenen Zustande werden die Proben im Königl. Materialprüfungsamte nach vollständiger Wassersättigung 4 Stunden lang einer Kälte von —12 bis —15 °C ausgesetzt, wieder in destilliertem Wasser aufgetaut, nach Auftauen wiederum 4 Stunden lang ausgefroren, erneut aufgetaut usf. 25 mal gefroren und aufgetaut. Nach dem letztmaligen Auftauen kommen die Proben naß zum Druckversuch unter die Prüfungsmaschinen. Erwähnt sei, daß die vor dem Gefrieren wassergesättigten Steine nach dem Ausfrieren noch weiter wasseraufnahmefähig sind, eine Erscheinung, die Gary in den Mitt. 1899, S. 168 damit erklärt, daß das Wasser im Inneren der Steine infolge der Raumvergrößerung beim Gefrieren auch in solche Poren mit Gewalt eindringt, die vor dem Gefrieren kein Wasser aufgenommen haben, oder daß es sich neue Poren erschließt.

b) Physikalisch-technologische Prüfungen.

Die Prüfungen physikalisch-technologischer Natur mit natürlichen und künstlichen Baustoffen umfassen die *Beurteilung* nach der äußeren Beschaffenheit, d

Bestimmung der Härte, des Raumgewichtes, des spezifischen Gewichtes, des Dichtigkeits- und Undichtigkeitsgrades, des Wasseraufnahmevermögens, der Wasserdichtigkeit, der Wasserdurchlässigkeit, des Verhaltens gegen Kälte und Wärme, die Feststellung des Schmelzpunktes, der Feuerfestigkeit, der Abnutzbarkeit.

Die Beurteilung nach der äußeren Beschaffenheit erstreckt sich besonders bei Ziegeln auf Beschaffenheit des Gefüges (ob gleichförmig, dicht, körnig, knollig oder rissig), auf das Aussehen der Bruchfläche (ob scharfkantig, muschelig, rauh, splitterig usw.) und auf Feststellung der Farbe.

Die Härte ermittelt man bei Gesteinen homogener Beschaffenheit meist durch Einordnung in die Mohssche Härteskala (s. I. S. 115).

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes s geschieht an dem zu feinem Pulver zerkleinerten, also nahezu lückenlosen Material, entweder mit dem Raummesser von Schumann oder von Erdmenger-Mann, welch letzterer im Königl. Materialprüfungsamte mehrfach Verbesserungen erfahren hat. (Vgl. v. Wrochem, Mitt. 1904, S. 217.) Beide Apparate haben Glasgefäße mit graduierten Meßröhren, an denen man die Raumvergrößerung einer bestimmten Menge Flüssigkeit im Glasgefäße nach dem Hinzufügen einer bestimmten Menge des Gesteinpulvers unmittelbar ablesen kann. Der Quotient

$$\frac{\text{Gewicht in g der aufgefüllten Menge Pulver}}{\text{Anzahl ccm der verdrängten Flüssigkeit}}$$

gibt das spezifische Gewicht.

Das Raumgewicht r_w bestimmt man an sogenannte[n] *[Pro]dstücken mit hydrostatischen* Wagen meistens

der sogenannten Wassersättigungsmethode, wobei die bei 100—110 ° C getrockneten Stücke wassersatt gemacht und gewogen werden.

Seltener wendet man die Paraffinumhüllungsmethode nach Tetmajer an, bei der die trockenen Steinstücke durch Eintauchen in geschmolzenes Paraffin mit einer dichten Paraffinhülle umgeben und dann gewogen werden.

Den Quotienten $\frac{r}{s}$ bezeichnet man mit Dichtigkeitsgrad $\mathfrak{d}$ (s. I. S. 11), den Ausdruck $\mathfrak{u} = 1 - \mathfrak{d}$ mit Undichtigkeitsgrad.

Da ein Gestein geringen Dichtigkeitsgrad besitzen kann, ohne gleichzeitig auch hohes Wasseraufnahmevermögen zu zeigen, so ist zur erschöpfenden Beurteilung des Gesteines hinsichtlich seines Undichtigkeitsgrades auch die Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens erforderlich. Die Bestimmung geschieht, indem man den Stein, nach Ermittlung seines Trockengewichtes (Gewicht des bis zum gleichbleibenden Gewicht bei 50 ° C getrockneten Steines), wie auf Seite 51 beschrieben, wassersatt macht und sein Gewicht nach 24, 72, 100 und 125 Stunden feststellt. Nach 125 Stunden ist Gewichtszunahme meist nicht mehr feststellbar, weil der Stein dann mit Wasser gesättigt ist. Man gibt als Wasseraufnahmevermögen die Gewichtszunahme durch Wassersättigung in Gewichtsprozenten (W_g) bezogen auf das Trockengewicht des Steines und in Raumprozenten (W_r) an.

$$W_r = \frac{r(G_1 - G) \cdot 100}{G},$$

worin G = Gewicht der trocknen Probe,
G_1 = Gewicht der wassersatten Probe,
r = Raumgewicht.

Aus W_r errechnet sich der Undichtigkeitsgrad als Grad der Porenfüllung nach

$$\mathfrak{u}_w = \frac{W_r}{u \cdot 100},$$

$$\text{worin } \mathfrak{u} = 1 - \mathfrak{d} \text{ (s. S. 53)},$$

$$\mathfrak{d} = \frac{r}{s}.$$

Dachdeckungsstoffe, besonders Dachziegel, werden in der Regel auch auf Wasserdichtigkeit und Wasserdurchlässigkeit geprüft, weil man von solchen Stoffen verlangt, daß sie dichte, wasserundurchlässige Oberflächen haben, aber auch gewisse Porosität besitzen. Auf Dachziegelscherben von etwa 10 qcm Fläche werden zu diesem Zwecke, nachdem die Bruchflächen mit Wachs und Kolophonium gedichtet sind, graduierte Glasröhren von 35 mm Durchmesser dichtschließend aufgekittet und bis zu bestimmter Marke mit Wasser angefüllt. Man beobachtet, welche Wassermenge in bestimmten Zeiträumen aufgesaugt wird, bzw. wann an der Unterseite des Scherbens sich Wasserdurchgang anzeigt.

Dachfalzziegel versieht man für diese Prüfung an den Enden der Falzrinnen mit Zementleisten und füllt die Falzrinnen dann mit Wasser an.

Fußbodenbelagstoffe, Zementplatten, Asphalt, Linoleum usw. prüft man auf Wasserdurchlässigkeit gleichfalls in der obengeschilderten Weise. Gelegentlich werden solche Stoffe, besonders wenn sie als Isoliermaterialien Verwendung finden sollen, z. B. Isolierdachpappe, Isolierasphaltfilz usw., auf Wasserdurchlässigkeit unter Druck geprüft. Das Versuchsverfahren ist von Rudeloff angegeben. Die zu prüfenden Materialien dienen hierbei als Abschluß eines Druckgefäßes, in dem man ihn

Wasserdruck (s. I. S. 114) erzeugt, und werden mit einer mit Schlitz versehenen Eisenplatte hinterlegt. Wo der Schlitz in der Eisenplatte sich befindet, hat das Material dem Innendruck Widerstand zu leisten; man beobachtet an diesen Stellen bei verschieden hohen Innendrucken das Verhalten der Materialoberfläche (Wasserdurchgang, Einreißen, Aufplatzen usw.).

Das Verhalten der Gesteine und Baustoffe gegen Kälte wird ermittelt, indem man sie, wie auf S. 51 beschrieben, 25maligem Gefrieren (Kältegrade —12 bis —15 ^{0} C) unterwirft. Nach jeder Gefrierperiode werden die Steine wieder in Wasser aufgetaut und ihre Oberflächenbeschaffenheit und ihr sonstiges Verhalten festgestellt. Findet durch die Frosteinwirkung Abblätterung von Material statt, so werden zur zahlenmäßigen Feststellung des Gefriereinflusses die abgeblätterten Stücke in den Auftaukästen gesammelt, getrocknet und gewogen. Den besten Maßstab für das Verhalten des Materials in der Kälte gibt indessen immer der Festigkeitsversuch mit den ausgefrorenen Steinen (s. S. 51).

Für die Feststellung des Verhaltens der Baustoffe gegen Wärme wird die Wahl der Wärmestufe dem jeweiligen Verwendungszwecke angepaßt werden müssen. Die Versuchsausführung geschieht oft in der Weise, daß man die zu prüfenden Steine einem Holzfeuer eine oder mehrere Stunden lang aussetzt und die Proben dann entweder langsam an der Luft erkalten läßt oder plötzlich durch Eintauchen in Wasser abkühlt; man beobachtet nach dieser Behandlung ihr Aussehen und ihre Beschaffenheit, oder ermittelt durch einen Festigkeitsversuch, ob und inwieweit die Festigkeit gegen den Anlieferungszustand abgenommen hat.

Da bei diesem Versuchsverfahren die Materialien al

seitig vom Feuer umspült werden, ihre Beanspruchung daher gegenüber der wirklichen bei einem Schadenfeuer unnötig scharf erscheint, so beurteilt man zutreffender das Verhalten der Baustoffe im Feuer, indem man aus ihnen kleine Gebäude errichtet, in denen Feuer entzündet wird (s. S. 81).

Feuerfeste Baustoffe, feuerfesten Ton, Schamotte usw. prüft man auf Feuerfestigkeit, indem man ihren Schmelzpunkt in besonderen Schmelzöfen, meist nach Deville, ermittelt. Die Deville-Öfen sind zylindrische, mit Magnesit ausgefütterte Schachtöfen, die mit Retortengraphit beschickt und mit Unterwind von einem Gebläse her betrieben werden. Die zu prüfenden Stoffe werden in Form von kleinen pyramidenförmigen Splittern, bei Tonen als geformte kleine Pyramiden, zusammen mit sogenannten Segerkegeln verschieden hohen Schmelzpunktes in einem Versuchstiegel aus hochfeuerfester Masse (Abmessungen: 50 mm Höhe, äußerer Durchmesser 45 mm, Wandstärke 5 mm) mit Deckel und Untersatz in den Retortengraphit eingebettet. Die Segerkegel werden aus feuerfesten Tonen verschieden hohen Schmelzpunktes hergestellt und nach laufenden Nummern bezeichnet; jeder Nummer entspricht ein bestimmter Schmelzpunkt. Die Feuerfestigkeit des Versuchsmaterials beurteilt man durch Vergleich der Beschaffenheit und Form des im Feuer gewesenen Materials mit Form und Beschaffenheit der niedergeschmolzenen Segerkegel. Tone mit Schmelzpunkten unter demjenigen des Segerkegels 26 bezeichnet man nicht mehr als feuerfest.

Große technologische Bedeutung hat besonders bei Materialien, die als Fußbodenbelag oder Pflastermaterial Verwendung finden, die Ermittlung der Abnutzbarkeit. Bisher diente zur Ermittlung dieser Eigenschaft

fast ausschließlich das von Bauschinger angegebene Verfahren mit Hilfe der nach ihm benannten Schleifscheibe, einer wagerecht kreisenden Gußeisenscheibe von 75 cm Durchmesser, die 30 Umgänge in der Minute macht. Würfelförmige Körper mit 7,1 cm Kantenlänge, also mit 50 qcm Fläche, werden vor dem Versuch getrocknet, gewogen und auf der der Schleifwirkung auszusetzenden Fläche (dieselbe, die die Oberseite des Pflasters bilden soll) eben geschliffen. Die Körper werden dann mit 30 kg Belastung, also 0,6 kg/qcm, auf die Schleifscheibe aufgedrückt und die Scheibe in Umdrehung gesetzt, nachdem man als Schleifmittel 20 g Naxosschmirgel Nr. 3 aufgeschüttet hat. Nach je 22 Umdrehungen der Scheibe wird Schmirgel und Abgeschliffenes entfernt und von neuem 20 g Schmirgel zugeführt. Nach 110, 220, 330 und 440 Umdrehungen der Schleifscheibe wird der Körper gewogen; aus dem Vergleich der Gewichtsmengen des Abgeschliffenen nach den einzelnen Versuchsabschnitten (110, 220, 330 und 440 Umdrehungen) läßt sich ein Urteil über den Gleichförmigkeitsgrad des Materials gewinnen; zugleich gibt die Gesamtmenge, also die Summe des Abgeschliffenen, nach 110, 220, 330 und 440 Umdrehungen, dividiert durch das Raumgewicht *r* (s. S. 52) die gesamte Abnutzung des Körpers in Raumzentimetern.

Neuerdings hat Gary zur Beurteilung der Abnutzbarkeit die Benutzung des Sandstrahlgebläses vorgeschlagen. Die zu prüfenden Materialien werden dabei mit einer Würfelseite auf einer kreisrunden Fläche von 6 cm Durchmesser = 28 qcm Querschnittsfläche zwei Minuten lang einem Sandstrahl, der unter 3 atm. Dampfdruck steht, ausgesetzt. Die Gewichtsabnahme, dividiert *durch das Raumgewicht* des Körpers, wird als Maßsta

für die Abnutzung benutzt. Das Verfahren legt auch das Gefüge des Materials bloß, so daß sich charakteristische Gefügebilder ergeben.

c) Chemische Prüfungen.

Die chemischen Prüfungen erstrecken sich meist auf die Bestimmung von löslichen Salzen und schädlichen Beimengungen in Ziegeln usw., sowie auf die Feststellung des Verhaltens von Fußbodenbelägen und Materialien für Kanalisationszwecke, chemische Fabriken usw. gegen Säuren, Wasser und Laugen.

Die im Wasser leicht löslichen Salze, die die Ziegelsteine enthalten, rühren entweder von dem verwendeten Rohmaterial oder vom Brennprozeß her; sie sind in der Hauptsache schwefelsaure Salze, die die Festigkeits- und physikalischen Eigenschaften der Steine im allgemeinen nicht schädlich beeinflussen, aber sich häufig auf der Oberfläche der Steine als weiße Salze ausscheiden (auswittern) und das Aussehen der Fassaden beeinträchtigen, auch wohl aufgetragenen Putz lockern oder Tapeten und Malereien zerstören. Man bezeichnet die weißen Salze im volkstümlichen Sprachgebrauch mit Salpeter, fälschlicherweise, denn in der Tat sind nicht salpetersaure, sondern schwefelsaure Salze die Ursache.

Die Feststellung von solchen löslichen Salzen geschieht, indem man das fein zerkleinerte Probenmaterial, das durch Siebe bestimmter Maschenweite (600 Maschen auf 1 qcm) durchgesiebt wurde, mit destilliertem Wasser auszieht, den filtrierten Auszug eindampft und die Menge des Rückstandes ermittelt.

Für die Bestimmung leicht löslicher, schädlicher Salze wird gleichfalls Ziegelpulver mit destilliertem Wasser unter öfterem Umschütteln eine Stunde lang

hitzt; eine bestimmte Menge dieses Auszuges versetzt man mit oxalsaurem Ammonium, wodurch der Kalk ausgefällt wird, dampft das Filtrat, das die schädlichen Salze enthält, zum Trocknen ein und bestimmt die Menge des Rückstandes.

Man ermittelt die Neigung des Steines zum Auswittern auch, indem man künstlich die Bedingungen hierfür schafft, nämlich die Steine mit Wasser sättigt und wieder trocknet, wodurch bei Gegenwart löslicher Salze Auswittern veranlaßt wird.

Fußbodenbelagstoffe usw. werden mit Salzsäure oder mit Laugen usw. behandelt, wobei man entweder den Gehalt an in Säuren löslichen Stoffen ermittelt oder beobachtet, welche Veränderungen die Materialien in bezug auf Farbe oder Gefüge erfahren. In ähnlicher Weise wird auch die Glasur der glasierten Steine geprüft.

2. Die Prüfung der Bindemittel und Zuschlagstoffe.

Zu den Bindemitteln zählt man die Luftkalke, die hydraulischen Kalke (auch Mager- oder Wasserkalke genannt), die Romanzemente, die Puzzolanzemente, die Portlandzemente (auch natürliche Zemente genannt), die Eisenportlandzemente, die gemischten Zemente.

Die Luftkalke, auch Fett- oder Weißkalke genannt, werden durch Brennen von möglichst reinem kohlensauren Kalk gewonnen und erhärten nur unter Einwirkung der Kohlensäure der Luft.

Die hydraulischen Kalke werden aus Kalkmergeln oder kieselsäurehaltigen Kalken durch Brennen unterhalb der Sintergrenze mit darauffolgender Hydratisierung und Zerkleinerung auf Mehlfeinheit gewonnen (Definition der

schweizerischen Normen). Im Gegensatz zu den Luftkalken erhärten sie an Luft oder unter Wasser selbständig infolge des Zusammenwirkens von Kalk und der sogenannten Hydraulefaktoren (Kieselsäure, Eisenoxyd, Tonerde).

Die Romanzemente sind Erzeugnisse, die aus tonreichen Kalkmergeln durch Brennen unterhalb der Sintergrenze und darauffolgende Zerkleinerung auf Mehlfeinheit gewonnen werden (Definition der schweizerischen Normen).

Puzzolanzemente werden durch Mischung pulverförmiger Kalkhydrate oder hydraulischer Kalke mit staubfein zerkleinerten hydraulischen Zuschlägen (insbesondere granulierter Hochofenschlacke) erzeugt. (Schweizer Normen.)

Portlandzement definieren die preußischen Normen als ein Produkt, entstanden durch Brennen einer innigen Mischung von kalk- und tonhaltigen Materialien als wesentlichsten Bestandteilen bis zur Sinterung und darauffolgende Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit. Solche Zemente, die aus in der Natur fertig vorkommenden Rohmischungen gebrannt werden, nennt man auch „natürliche Zemente".

„Erzzement" ist ein künstlicher Portlandzement, gebrannt unter Ersatz der Tonerde durch Eisenoxyd.

Eisenportlandzement wird aus Portland-Klinkern, die durch Brennen von Kalkstein und Hochofenschlacke oder Ton erzeugt sind und unter Zumischung von geglühter granulierter Hochofenschlacke zermahlen wurden, hergestellt.

Gemischte Zemente sind Erzeugnisse, die aus der Mischung fertiger Zemente mit geeigneten Zuschlägen bestehen. Sie führen die verschiedensten Namen (Bauzement, Sandzement usw.).

Als sogenannte hydraulische Zuschlagstoffe, die nur in Verbindung mit Ätzkalk erhärten, kommen die Puzzolanerde, die Santorinerde, der Traß (vulkanischer Tuffstein), Bimssand, Vulkansand und sogenannter Si-Stoff (ein Abfallstoff der Alaunfabrikation, dessen Hauptbestandteil lösliche Kieselsäure [SiO_2] ist) in Frage. Zuschlagstoffe für die Mörtel- und Betonbereitung sind ferner Sand, Kies, Gerölle, Steinschlag, Schotter usw.

a) Für die Prüfung der Bindemittel, insbesondere des Portlandzementes, als des wichtigsten unter ihnen, hat die Notwendigkeit bestimmter Lieferungs- und Prüfungsbedingungen schon in den siebziger Jahren in Preußen zu Vereinheitlichungen geführt, die von größeren Interessentenkreisen (Verein deutscher Portlandzementfabrikanten) angeregt und von den preußischen Ministerien der öffentlichen Arbeiten und für Handel und Gewerbe in den „Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Zement“ niedergelegt sind. — Die Normen sind mehrfach umgearbeitet worden und haben auch außerhalb Preußens Geltung erlangt; auch im Ausland sind ähnliche Vereinheitlichungen geschaffen worden. Die Prüfung der übrigen Bindemittel ist möglichst den Normen angepaßt worden. Neuerdings werden besondere Normen für Kalk und Kalkmörtel angestrebt.

Der Verein deutscher Portlandzementfabrikanten achtet streng darauf, daß unter dem Namen „Portlandzement“ von seinen Mitgliedern nur Erzeugnisse in den Handel gebracht werden, die der obengegebenen Begriffserklärung voll gerecht werden und vor allen Dingen ohne Zumischung minderwertiger Beimengungen hergestellt wurden. An Beimengungen werden überhaupt höchstens 2% zugelassen; Mitglieder, die gegen diese Bestimmung

verstoßen, werden aus dem Vereine ausgeschlossen, und ihr Ausschluß wird öffentlich bekannt gemacht.

Die Normen machen Vorschriften über Verpackung und Gewicht des Zementes, über Bindezeit, Raumbeständigkeit, Mahlfeinheit und Festigkeitsverhältnisse.

Die Vorschriften über das Gewicht setzen Bestimmung des Raumgewichtes nicht voraus, sie geben nur die Grenzen für Brutto- und Nettogewicht der Fässer, in denen Portlandzement zum Versand kommt. Trotzdem bestimmt man das Raumgewicht fast regelmäßig und zwar im sogenannten lose eingelaufenen und im festeingerüttelten Zustande. Über Form der hierbei zu verwendenden Gefäße sind Vereinbarungen nicht getroffen. Meist verwendet man Litergefäße und Einlaufapparate verschiedener Bauart.

Das spezifische Gewicht bestimmt man mit dem auf S. 52 beschriebenen Raummesser von Erdmenger-Mann.

In bezug auf die Bindezeit unterscheiden die preußischen Normen langsam und rasch bindende Zemente. Langsam bindende Zemente sind solche, die erst nach Verlauf von zwei Stunden oder noch später abbinden.

Zur Bestimmung der Abbindezeit bedient man sich der sogenannten Normalnadel von Vicat (s. Fig. 10). Die Nadel hat ein Gewicht von 300 g und eine Querschnittsfläche von 1 qmm (senkrecht zur Achse abgeschnitten).

Für den Versuch wird der Zement zu einem steifen Brei angemacht, unter Zusatz von etwa 27—30 % Wasser mit einem Spatel 1—3 Minuten lang (Schnellbinder *1 Minute) angerührt* und auf einer Glasplatte in einer

Schicht von etwa 1,5 cm Dicke zu einem Kuchen ausgebreitet. Mit diesem Brei wird der Hartgummiring *a* von 8 cm Höhe, 7,5 cm unterem und 6,5 cm oberem lichten Durchmesser angefüllt und auf der Glasplatte *b* unter den Apparat gebracht.

Man läßt dann die Normalnadel, die in einem zylindrischen Schaft von 1 cm Durchmesser eingesetzt ist, in den Zementbrei eindringen und bezeichnet als Beginn

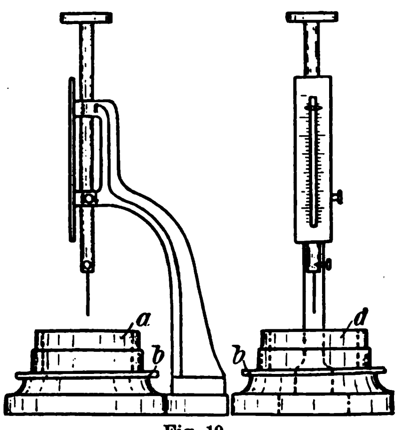


Fig. 10.
Normalnadel nach Vicat.

des Abbindens den Zeitpunkt, bei dem die Nadel den Brei nicht mehr ganz durchdringt, sondern in ihm stecken bleibt. Das Ende der Abbindezeit ist erreicht, wenn die Nadel überhaupt nicht mehr in den Zementbrei einzudringen vermag. Zu beachten bleibt bei diesen Versuchen die Innehaltung bestimmter Luft- und Wasserwärme (15—18 ° C).

Da die Beobachtung der Nadel dem persönlichen Emp-

finden des Beobachters weiten Spielraum läßt, hat Gary mit Erfolg die Messung der Wärmeerhöhung des Zementes beim Abbinden als Maßstab für die Abbindezeiten benutzt. Er überträgt zu diesem Zweck die Bewegungen des Quecksilberfadens eines in den frisch eingerührten Zementbrei eingesetzten Thermometers auf einen lichtempfindlichen Papierstreifen, der auf einer durch Uhrwerk mit vorgeschriebener Geschwindigkeit bewegten Trommel aufgespannt ist.

Die Normen schreiben weiter vor, daß Portlandzement raumbeständig sein soll, und verlangen, daß zum Nachweis dieser Eigenschaft ein auf einer Glasplatte ausgebreiteter und vor Austrocknung geschützter Kuchen aus reinem Zement, nach 24 Stunden unter Wasser gelegt, auch nach längerer Beobachtungszeit keine Verkrümmungen oder Kantenrisse zeigen darf.

Man stellt also aus dem obenbeschriebenen Zementbrei, der zu Abbindeversuchen benutzt wurde, Kuchen her, die man nach dem Abbinden, spätestens nach 24 Stunden unter Wasser bringt, und beobachtet, ob der Zement zu „treiben" beginnt, d. h. eine Raumvergrößerung vornimmt und infolgedessen Verkrümmungen und Kantenrisse zeigt. Die Treiberscheinungen, die sich bei nicht raumbeständigen Zementen meist schon nach drei Tagen zu zeigen pflegen und nicht mit den Schwindrisser verwechselt werden dürfen, können bis zum völlig Zerfall des Zementkuchens führen. Da sie indessen ihrer sicheren Feststellung oft eine Beobachtungszeit v 28 Tagen erfordern, so sind vielfach Vorschläge beschleunigte Raumbeständigkeitsproben (K probe, Darrprobe, Dampfprobe, Hochdr dampfprobe, Preßkuchenprobe) gemacht w haben aber allgemeine Geltung noch nicht gefunde

Zur Erlangung zahlenmäßiger Werte für die Längenausdehnung von Zementen führt man im Königl. Materialprüfungsamte auch Feinmessungen an prismatischen Proben von 10 cm Seitenlänge und 5 qcm Querschnitt unter Benutzung von Bauschingerschen (Tastapparat) oder Martensschen Feinmeßapparaten aus.

Nach den Normen soll Portlandzement so fein gemahlen sein, daß eine Probe auf einem Sieb von 900 Maschen auf 1 qcm höchstens 10 % Rückstand hinterläßt. Die Drahtstärke des Siebes soll die Hälfte der Maschenweite betragen. Die den Normen beigegebenen Begründungen und Erläuterungen besagen hierzu: „Für jede Probe sollen 100 g Zement verwendet werden. Die Mahlfeinheit hat Einfluß auf die Güte des Zementes, weil in einem feingemahlenen Zemente mehr Teile des Zementes zur Wirkung kommen; andererseits ist die Erfüllung dieser Bedingung nicht allein ausschlaggebend für gute Ware, denn die geringwertigen weichen Zemente werden sich eher feinmahlen lassen, als die guten, scharf gebrannten."

Diese Normenvorschrift ist dem heutigen Stande der Fabrikation bei weitem nicht mehr angepaßt. Die Zemente zeigen durchweg beträchtlich größere Feinheit, als sie hier vorgeschrieben, deswegen ist fast überall statt des 900-Maschensiebes das 5000-Maschensieb für die Prüfung der Mahlfeinheit eingeführt, das sich neuerdings indessen auch nicht mehr als ausreichend erweist, da gute Portlandzemente auf dem Siebe von 5000 Maschen nur etwa 20 % Rückstand hinterlassen. Zur näheren Bestimmung der chemisch wirksamsten 80 % der feinsten Teile haben Gary und Lindner sogenannte Windsichtverfahren ausgebildet.

Über die Festigkeitsproben mit Portlandzement besagen die Normen in den Absätzen V und VI wörtlich:

„Absatz V. Die Bindekraft von Portlandzement soll durch Prüfung einer Mischung von Zement und Sand ermittelt werden. Die Prüfung soll auf Zug- und Druckfestigkeit nach einheitlicher Methode geschehen, und zwar mittels Probekörper von gleicher Gestalt und gleichem Querschnitt und mit gleichen Apparaten.

Daneben empfiehlt es sich, auch die Festigkeit des reinen Zementes festzustellen.

Die Zerreißungsproben sind an Probekörpern von 5 qcm Querschnitt der Bruchfläche, die Druckproben an Würfeln von 50 qcm Fläche vorzunehmen.“

„Begründung zu V. Da man erfahrungsgemäß aus den mit Zement ohne Sandzusatz gewonnenen Festigkeitsergebnissen nicht einheitlich auf die Bindefähigkeit zu Sand schließen kann, namentlich wenn es sich um Vergleichung von Portlandzementen aus verschiedenen Fabriken handelt, so ist es geboten, die Prüfung von Portlandzement auf Bindekraft mittels Sandzusatzes vorzunehmen.

Die Prüfung des Zements ohne Sandzusatz empfiehlt sich namentlich dann, wenn es sich um den Vergleich von Portlandzementen mit gemischten Zementen und anderen hydraulischen Bindemitteln handelt, weil durch die Selbstfestigkeit die höhere Güte bzw. die besonderen Eigenschaften des Portlandzements, welche den übrigen hydraulischen Bindemitteln abgehen, besser zum Ausdruck gelangen, als durch die Probe mit Sand.

Obgleich das Verhältnis der Druckfestigkeit zur Zugfestigkeit bei den hydraulischen Bindemitteln ein verschiedenes ist, so wird doch vielfach nur die Zugfestigkeit als Wertmesser für verschiedene hydraulische Bindemittel benutzt. Dies führt jedoch zu einer unrichtigen Beurteilung der letzteren. Da ferner die Mörtel in der Praxis in erster Linie auf Druckfestigkeit in Anspruch genommen

werden, so kann die maßgebende Festigkeitsprobe nur die Druckprobe sein.

Um die erforderliche Einheitlichkeit bei den Prüfungen zu wahren, wird empfohlen, derartige Apparate und Geräte zu benutzen, wie sie bei der Königl. Prüfungsstation in Charlottenburg-Berlin (jetzt Königl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde) im Gebrauch sind."

„Absatz VI. Zug- und Druckfestigkeit. Langsam bindender Portlandzement soll bei der Probe mit drei Gewichsteilen Normalsand auf ein Gewichtsteil Zement nach 28 Tagen Erhärtung — ein Tag an der Luft und 27 Tage unter Wasser — eine Minimal-Zugfestigkeit von 16 kg pro Quadratzentimeter haben. Die Druckfestigkeit soll mindestens 160 kg pro Quadratzentimeter betragen.

Bei schnell bindenden Portlandzementen ist die Festigkeit nach 28 Tagen im allgemeinen eine geringere, als die oben angegebene. Es soll deshalb bei Nennung von Festigkeitszahlen stets auch die Bindezeit aufgeführt werden."

„Begründung und Erläuterungen. Da verschiedene Zemente hinsichtlich ihrer Bindekraft zu Sand, worauf es bei ihrer Verwendung vorzugsweise ankommt, sich sehr verschieden verhalten können, so ist insbesondere beim Vergleich mehrerer Zemente eine Prüfung mit hohem Sandzusatz unbedingt erforderlich. Als geeignetes Verhältnis wird angenommen: drei Gewichtsteile Sand auf einen Gewichtsteil Zement, da mit drei Teilen Sand der Grad der Bindefähigkeit bei verschiedenen Zementen in hinreichendem Maße zum Ausdruck gelangt.

Zement, welcher eine höhere Zugfestigkeit bzw. Druckfestigkeit zeigt, gestattet in vielen Fällen einen größeren Sandzusatz und hat, aus diesem Gesichtspunkte betrachtet, sowie oft schon wegen seiner größeren Festigkeit be-

5*

gleichem Sandzusatz, Anrecht auf einen entsprechend höheren Preis.

Die maßgebende Festigkeitsprobe ist die Druckprobe nach 28 Tagen, weil in kürzerer Zeit, beim Vergleich verschiedener Zemente, die Bindekraft nicht genügend zu erkennen ist. So können z. B. die Festigkeitsergebnisse verschiedener Zemente bei der 28-Tagesprobe einander gleich sein, während sich bei einer Prüfung nach sieben Tagen noch wesentliche Unterschiede zeigen.

Als Prüfungsprobe für die abgelieferte Ware dient die Zugprobe nach 28 Tagen. Will man jedoch die Prüfung schon nach sieben Tagen vornehmen, so kann dies durch eine Vorprobe geschehen, wenn man das Verhältnis der Zugfestigkeit nach sieben Tagen zur 28-Tagefestigkeit an dem betreffenden Zement ermittelt hat. Auch kann diese Vorprobe mit reinem Zement ausgeführt werden, wenn man das Verhältnis der Festigkeit des reinen Zements zur 28-Tagefestigkeit bei drei Teilen Sand festgestellt hat.

Es empfiehlt sich, überall da, wo dies zu ermöglichen ist, die Festigkeitsproben an zu diesem Zwecke vorrätig angefertigten Probekörpern auf längere Zeit auszudehnen, um das Verhalten verschiedener Zemente auch bei längerer Erhärtungsdauer kennen zu lernen.

Um zu übereinstimmenden Ergebnissen zu gelangen, muß überall Sand von gleicher Korngröße und gleicher Beschaffenheit benutzt werden. Dieser Normalsand wird dadurch gewonnen, daß man möglichst reinen Quarzsand wäscht, trocknet, durch ein Sieb von 60 Maschen pro Quadratzentimeter siebt, dadurch die gröbsten Teile ausscheidet und aus dem so erhaltenen Sande mittels eines Siebes von 120 Maschen pro Quadratzentimeter noch die feinsten Teile entfernt. Die Drahtstärke der Siebe soll *0,38 mm bzw.* 0,32 mm betragen.

Da nicht alle Quarzsande bei der gleichen Behandlungsweise die gleiche Festigkeit ergeben, so hat man sich zu überzeugen, ob der zur Verfügung stehende Normalsand mit dem unter der Prüfung des Vorstandes des deutschen Zementfabrikanten-Vereins gelieferten Normalsand, welcher auch von der Königl. Prüfungsstation in Charlottenburg (Materialprüfungsamt) benutzt wird, übereinstimmende Festigkeitsergebnisse gibt.“ Vergleiche über die verschiedenen Eigenschaften verschiedener fremder Normalsande (reine Quarzsande) gibt Gary („Mitteilungen“ 1898, S. 131).

Besondere Beschlüsse, die im Jahre 1901 bezüglich des Normalsandes gefaßt wurden, schreiben vor:

„Bis zur Schaffung eines anderen wird der Normalsand aus tertiärem Quarzsand eines bestimmten Flözes der Freienwalder Grube Hammerthal durch Waschen und Sieben gewonnen.

Der Normalsand soll mindestens 99% SiO_2 und nicht mehr als 0,1% abschlämmbare Teile enthalten.

Seine Körner sollen durch kreisrunde Löcher von 1,35 mm fallen und auf kreisrunden Löchern von 0,775 mm liegen bleiben. Die Bleche der Kontrollsiebe sollen 0,25 mm dick sein. Bei der Kontrolle mit diesen Sieben dürfen nicht mehr als 2% zu grobe und 10% zu feine Körner zugelassen werden. Die Kontrolle geschieht durch die Königl. Versuchsanstalt zu Charlottenburg (Materialprüfungsamt Groß-Lichterfelde). Der Sand wird in Säcken abgegeben, die mit der Plombe der Versuchsanstalt geschlossen sind.“

Weitere Vorschriften der Normen behandeln bis in alle Einzelheiten die Anfertigung der Proben, deren Behandlung usw.; wörtliche Wiedergabe dieser Bestimmungen würde zu breiten Raum erfordern. Bemerkt sei

besonders, daß für jede Prüfung 10 Proben ausgeführt werden müssen.

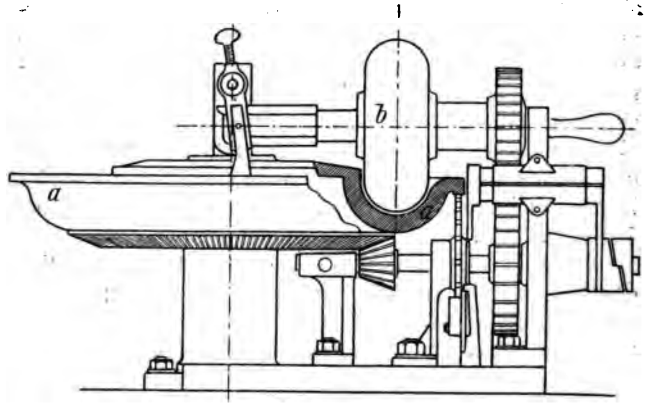


Fig. 11.
Mörtelmischer nach Steinbrück-Schmelzer.

Apparat	Gewicht		Dicke	Durchmesser	Abstand der Walze von der Schale	Abstand vom Drehpunkt der Schale bis Mitte Walze
	der Mischwalze b.					
	mit Achse	ohne Achse				
	kg	kg	cm	cm	cm	cm
Soll haben	21,5—22,0	19,1—19,4	8,08	20,25—20,35	0,50—0,60	19,7—19,8

Die Anfertigung der Normalproben erfolgt an den öffentlichen Prüfungsstellen meist unter Benutzung bestimmt vorgeschriebener Apparate. Das Mörtelgemisch im Verhältnis von 1 : 3 (500 g Zement, 1500 g Normalsand) wird zunächst trocken mit einem leichten Löffel in einer Schüssel $1/2$ Minute lang gemischt und dann die er-

forderliche Wassermenge (160—200 g reines Süßwasser) zugesetzt, $^1/_2$ Minute von Hand gemischt und hierauf im sogenannten Mörtelmischer nach Steinbrück-Schmelzer mit 20 Schalenumdrehungen bearbeitet. Figur 11 veranschaulicht den Apparat und gibt die vorgeschriebenen Abmessungen wieder. Er besteht im wesentlichen aus einer gußeisernen Füllschale *a*, die das zu mischende Material aufnimmt und durch Stirnradantrieb in Umdrehung gesetzt wird; die Durchmischung besorgen dann das scheibenförmige Kollergewicht *b* und zwei eiserne Mischschaufeln von bestimmter Form und Abmessung. Eine automatische Getriebeausrückung bewirkt selbsttätigen Stillstand der Mischschale nach 20 Umdrehungen.

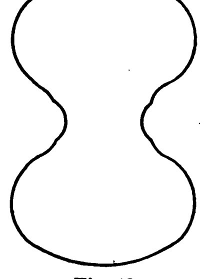
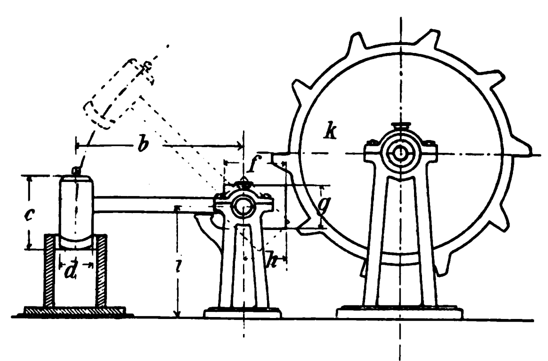


Fig. 12.
Probenform für Zugversuche mit Bindemitteln.

Von diesem Mörtelgemisch werden 180 g in die Zugformen für 8-förmige Probekörper (s. Fig. 12), 860 g in die Druckformen, kastenförmige gußeiserne Gehäuse, die einen der Würfelform von 7,1 cm Kantenlänge entsprechenden Hohlraum haben, gefüllt; die gefüllten Formen kommen zum Einschlagen der Probe unter den Hammerapparat nach Böhme, der in Figur 13 mit den vorgeschriebenen Abmessungen wiedergegeben ist. Die Formen werden auf der eisernen Tischplatte des Apparates befestigt und mit einer eisernen Aufschlagdeckplatte, die in den Hohlraum des Formgehäuses genau eingepaßt ist, bedeckt. Auf diese Aufschlagplatte übt der durch Daumenrad *k* betätigte Schlaghammer 150 Schläge aus, worauf eine selbsttätig wirkende Anhaltevorrichtung den Antriebsmechanismus ausschaltet.

Ist der Wasserzusatz richtig gewählt, so muß an den Fugen der Formkästen zwischen dem 90. und 110. Schlage Zementwasser ausfließen. Tritt dies früher oder später ein, so sind die Proben nicht normenmäßig und müssen daher mit anderem Wasserzusatz neu gefertigt werden. Bei geringer Übung in der Probenanfertigung wird indessen fast regelmäßig der richtige Wasserzusatz getroffen.



Hubhöhe des Hammers a = 168, Länge des Hammerhebels b = 250, Höhe des Hammerkopfes c = 112, Breite des Hammerkopfes d = 51, Dicke des Hammerkopfes e = 51, Länge des Schwanzstückes f = 85, Höhe des Schwanzstückes g = 70, Länge des kurzen Hebels h = 61, Lagerhöhe i = 170 mm.

Fig. 13.
Hammerapparat nach Böhme.

Die fertiggeschlagenen Proben verbleiben zunächst in der Form (Zugproben $^1/_2$ Stunde, Druckproben 20 Stunden lang) und kommen dann unter Wasser von 15—18° C, wo sie zur Erhärtung bis zur Prüfung (nach den Normen 7 oder 28 Tage) aufbewahrt werden.

Außerhalb der Normenprüfung werden Zemente und andere Bindemittel auch häufig in anderen Gemengen als 1 : 3, mit anderer Art der Erhärtung (an der Luft, unter

feuchtem Sand) und auch in anderen Altersstufen geprüft.

Für Ausführung der **Zugversuche** findet der **Apparat von Frühling-Michaelis** allgemeine Verwendung (s. Fig. 14). Der zwischen den Einspannklauen

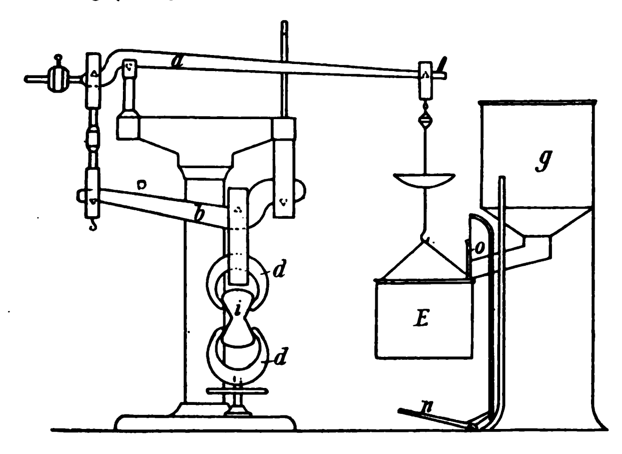


Fig. 14.
Zerreißapparat nach Frühling-Michaelis.

d eingespannte Probekörper *i* wird mit Hilfe des Hebelgestänges, das mit 50facher Übersetzung arbeitet (Hebel *a* = 1 : 10, Hebel *b* = 1 : 5), durch das in das Blechgefäß *E* einlaufende Schrot belastet, das aus dem Gefäß *g* ausläuft, wenn der Schieber *o* geöffnet wird. Sobald der Probekörper zerreißt, kommt das Gefäß *E* zum Aufschlage auf Hebel *n*, wodurch der Schieber *o* geschlossen und der Schrotzulauf unterbrochen wird. Die Zerreißlast ermittelt man durch Auswiegen des im Gefäß E eingelaufenen Schrotes. Die Last ist für Errechnung de

Zugfestigkeit für das Quadratzentimeter nur mit 10 zu multiplizieren. (Hebelübersetzung 1 : 50, Zerreißquerschnitt der Probe 5 qcm, Schrotgewicht = P, mithin $\frac{P \cdot 50}{5} = P \cdot 10 = \sigma_B \cdot$ kg/qcm.)

Für die Druckversuche benutzt man hydraulisch betriebene Prüfungspressen (s. I. S. 134), meist mit hydraulischer oder hydrostatischer Kraftmessung. Viel im Gebrauch ist die Presse von Amsler-Laffon, die mit Öl als Preßflüssigkeit arbeitet; sie ist im ersten Bändchen S. 139 beschrieben.

b) Die Prüfungsvorschriften nach den Normen, die öffentliche Geltung nur für die Lieferung und Prüfung von Portlandzement haben, sind in den meisten Punkten auch für die Prüfung der übrigen Bindemittel, der hydraulischen Kalke usw., übernommen worden. Einheitlichkeit der Prüfungsverfahren und Gütemaßstäbe nach bestimmten Vorschriften sind für diese Stoffe bisher leider noch nicht erreicht worden.

Die Prüfung der Bindemittel erstreckt sich neben der Normenprüfung auch häufig noch auf Feststellung des Glühverlustes, der Ablöschung und Ergiebigkeit, des Mörtelhaftvermögens am Stein, der Mörtelergiebigkeit, der Verputzfähigkeit, der Frostbeständigkeit und auf chemische Untersuchungen. Die für diese Prüfungen im Königl. Materialprüfungsamte gebräuchlichen Verfahren beschreibt Burchartz in den „Mitteilungen" Jahrgang 1902, S. 255 ff. Das Wichtigste ist nachstehend wiedergegeben.

Als Glühverlust ermittelt man den Gewichtsverlust in Prozenten einer gewogenen Gesamtmenge nach dem Glühen.

Für die Feststellung der Ablöschbarkeit und Er-

giebigkeit des Bindemittels beim Ablöschen wird der Stückkalk in Walnußgröße durch ein Sieb von einer Masche auf das Quadratzentimeter gesiebt und unter Wasser belassen, bis die Blasenbildung aufhört, worauf er in Kästen, in denen er zu Kalkpulver oder -Teig zerfällt, bis zur Mörtelbereitung aufbewahrt wird. Als Gütemaßstäbe benutzt man entweder Höhe des Wasserverbrauches oder Löschdauer, den Gehalt an steinigen Rückständen, das Litergewicht, die Menge des gewonnenen Kalkteiges oder Kalkpulvers (Ergiebigkeit).

Das Mörtelhaftvermögen am Stein beurteilt man nach dem Verhalten des zu Mörtel kellengerecht angemachten Kalkes nach dem Aufstreichen auf Dachziegel und Lagern unter Wasser, oder man mauert, wie schon S. 46 beschrieben, zwei Ziegelsteine mit dem Mörtel kreuzweise aufeinander, belastet die etwa 1 cm dicke Mörtelfuge durch Aufsetzen von Gewichten auf die Steine, um möglichst dichtes Mörtelband zu erzielen, und bestimmt nach dem Erhärten die Belastung, unter der die Steine auseinandergerissen werden. Vielfach vermauert und prüft man auf Haftvermögen auch nach Fig. 15, die über das eigentliche Haftvermögen des Mörtels am Stein zutreffendere Ergebnisse liefert als die obige Probe, bei der das Mörtelband senkrecht zur Zugrichtung steht.

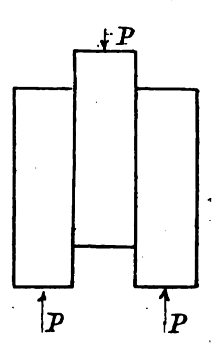


Fig. 15. Probenherrichtung zur Ermittelung des Mörtelhaftvermögens.

Die Mörtelergiebigkeit bestimmt man nach der Verarbeitung des Bindemittels zu kellengerechtem Mörtel *als den Quotienten*

$$E = \frac{M}{1 + n},$$

worin M der Rauminhalt des erzielten Mörtels, $1 + n$ das Mischungsverhältnis des Mörtels angibt. M errechnet sich aus

$$\frac{r_k + r_s + W_n}{r_m},$$

worin bedeutet:

r_k = Raumgewicht des Kalkpulvers,
r_s = Raumgewicht des verwendeten Sandes (Mittel zwischen Litergewicht im eingelaufenen und eingerüttelten Zustande),
W_n = Gewicht des notwendigen Wasserzusatzes für die Mörtelbereitung,
r_m = Raumgewicht des mauergerechten Mörtels.

Die Verputzfähigkeit des Mörtels beurteilt man nach dem Verhalten beim Verputzen eines aus guten Mauersteinen hergestellten Pfeilers.

Frostproben mit Mörteln werden wie auf Seite 51 beschrieben ausgeführt.

Für manche Bindemittel und hydraulische Zuschläge (besonders Traß), die bei Talsperrenbauten ausgiebige Verwendung gefunden haben, bestimmt man auch die Wasserdichtigkeit bzw. die Wasserdurchlässigkeit. Man benutzt hierzu Proben von 7,1 cm Durchmesser und 2,3 cm Dicke (bei Verwendung von sehr grobkörnigem Sande auch 3 cm Dicke), die aus dem erdfeuchten Mörtel in Metallformen von Hand eingeschlagen werden und nach dem Erhärten einem Wasserdruck von 2—2,5 Atmosphären drei oder mehrere Tage lang ausgesetzt werden.

Magerungsmittel und Zuschlagstoffe, wie Sand, Kies, Gerölle, Steinschlag, Schotter usw., die für die Mörtel- und Betonbereitung Verwendung finden, prüft man auf ihre petrographische Beschaffenheit und ihr Aussehen, auf Raum-(Liter-)gewicht im eingelaufenen, eingefüllten (10 Litergefäß) und eingerüttelten Zustande, auf spezifisches Gewicht, Dichtigkeits- und Undichtigkeitsgrad (Gehalt an Hohlräumen im fest eingerüttelten Zustande) nach den bereits beschriebenen Verfahren, auf Korngröße durch Bestimmung der Rückstände auf dem 900, 600, 324, 120, 60, 20, 9, 4 und 1-Maschensieb (d. h. 900 Maschen/qcm, 600 Maschen/qcm usw.) Man ermittelt ferner den Gehalt an abschlämmbaren, ton- oder lehmhaltigen Bestandteilen, den Glühverlust und bestimmt durch die chemische Analyse die mit Salzsäure löslichen Bestandteile, wie Kieselsäure, Eisenoxyd, Tonerde, Kalk, Magnesia.

An chemischen Untersuchungen führt man auch bei den Bindemitteln und Zuschlägen die Bestimmung der ebengenannten Bestandteile, außerdem des Schwefelsäuregehaltes und des Gehaltes an unaufgeschlossenen Rückständen aus, wobei die gebräuchlichen Methoden der analytischen Chemie angewendet werden. Nach Heusegger und Waldeck (Kalk- und Zementfabrikation. Leipzig 1875. Thomas) enthalten sehr gute hydraulische Kalke 24—30% Ton, ziemlich gute 30—45%, oder 20—25%. Bei geringerem Gehalt als 20% Ton sind die Kalke wenig hydraulisch (wassererhärtend), bei höherem als 50 — 60% werden sie zu mager.

Für die Portlandzemente dient die chemische Analyse in erster Linie zur Feststellung, ob das Bindemittel die chemische Zusammensetzung normaler Portlandzemente hat. *Büsing*-Schumann (Der Portlandzement und sein

Anwendungen im Bauwesen. Berlin 1905. G. Toeche) geben folgende Zusammensetzung für deutschen Portlandzement an:

Kalk	58,22—65,19
Kieselsäure	19,80—26,45
Eisenoxyd	2,19— 4,47
Tonerde	4,16— 9,45
Magnesia	Spuren — 2,89
Alkalien	0,19— 2,83
Schwefelsäure	0,19— 2,19
Glühverlust	0,26— 2,67
Unaufgeschlossener Rückstand	0,12— 1,38

Die Analyse erstreckt sich ferner auf Ermittlung schädlicher Beimengungen (zu hoher Kalk-, Magnesia-, Gipsgehalt).

Über die etwa verwendeten Zuschläge (Ton, Sand, Asche, Farbstoffe, Kalkstein, Tonschiefer, Traß, hydraulicher Kalk, Hochofenschlacke usw.) gibt die chemische Analyse meist hinreichend Aufschluß.

Hochofenschlacke im Portlandzement bestimmt man durch Trennung des leichten Schlackengrießes von dem schweren Zementklinkergrieß in spezifisch schweren Flüssigkeiten (Schwebeanalyse) und Berechnung der Mengen beider Stoffe unter Zugrundelegung ihres Sulfidschwefelgehaltes und des Gehaltes des Gemisches an Sulfidschwefel. Auf Einzelheiten dieses Verfahrens einzugehen, würde zu weit führen. Eingehende Schilderung finden Interessenten in den „Mitteilungen“ (Jahrgang 1905, Heft 1: Gary und v. Wrochem, Über den Nachweis freier Hochofenschlacke im Portlandzement).

3. Prüfung von Baukonstruktionen und besonderen Gebrauchsmaterialien.

Da die beschriebenen Versuchsverfahren mit Bausteinen und Bindemitteln meist nur Materialproben und Vergleichsmaßstäbe darstellen, deren Ergebnisse zum Teil nicht ohne weiteres auf die praktische Verwertbarkeit der Stoffe schließen lassen, so sind häufig fertige Baukonstruktionen, wie Wände, Decken, Treppen und kleine Gebäude, Gegenstand der Prüfung, um zu ermitteln, wie sich die Baustoffe in den fertigen Konstruktionen verhalten oder welche Tragfähigkeit bestimmten Konstruktionen zukommt.

a) Wände prüft man meistens auf Verhalten gegen Erschütterung. Im Materialprüfungsamt werden hierzu Schlagversuche ausgeführt, indem eine eiserne Kugel von etwa 50 kg Gewicht nach Art des Pendelhammers (I. S. 97) Schläge aus etwa 1 m Fallhöhe ausübt und das Verhalten der Wand unter dieser wiederholten Erschütterung beobachtet wird.

b) Außerordentliche Vielseitigkeit herrscht in bezug auf die Konstruktion von Decken, von denen eine große Anzahl von Neukonstruktionen in den letzten Jahren zur Prüfung und Ausführung gekommen sind, die sich meist in der Form der verwendeten Deckensteine oder in Form und Anwendung der eisernen Deckeneinlagen voneinander unterscheiden.

Im Materialprüfungsamt (s. Gary „Mitteilungen“ Jahrgang 1899, S. 115) werden Belastungsproben mit sachgemäß hergestellten Deckenfeldern ausgeführt, wobei die Felder zwischen zwei I-Trägern eingespannt werden, die man durch eiserne Zuganker miteinander verankert, wenn die Deckenfelder bei ihrer späteren Verwendung

in Bauten Seitenschub ausüben können, anderenfalls aber frei liegen läßt. Das Belastungsmaterial wird auf diese Felder in Form von Roheisenbarren, Eisenschienen, Sandsäcken usw. aufgebracht. Hinsichtlich des Aufbaues dieses Belastungsmaterials begegnet man in der Praxis

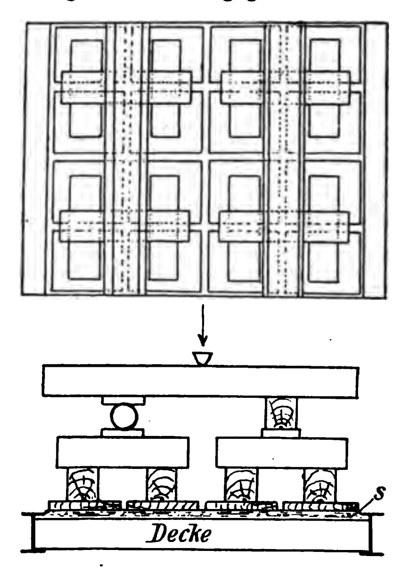


Fig. 16.
Belastungsaufbau bei Deckenprüfungen.

häufig durchaus fehlerhaften Versuchsausführungen, indem nämlich das Material, z. B. Ziegelsteine, womöglich im Verband zueinander, jedenfalls dicht nebeneinander liegend und das Belastungsfeld vollständig bedeckend, aufgestapelt wird; dabei kann es vorkommen, daß der Belastungsaufbau *Widerlager an den* seitlichen I-Trägern des Deckenfeldes

findet und schließlich, wie ein Gewölbe, sich selbst trägt, ohne das Deckenfeld zu belasten. Mit solcher Versuchsanordnung pflegt man dann natürlich überraschend günstige Belastungsergebnisse zu erzielen, die mit der eigentlichen Tragfähigkeit der Decke aber wenig zu tun haben.

Im Materialprüfungsamte wird auf dem Deckenfelde zunächst eine dünne Sandschicht *S* ausgebreitet und darauf ein Aufbau von Holzstücken und Eisenbarren angeordnet, wie Fig. 16 zeigt. Die eigentlichen Druckübertragungsstellen sind in geringem Abstande voneinander verlegt, so daß man gleichmäßig verteilte Belastung annehmen darf. Die zwischengebauten Rollenstücke bewirken jedoch, daß die einzelnen Stapel des Belastungsaufbaues der erfolgenden Durchbiegung des Deckenfeldes folgen können, ohne sich gegenseitig abzustützen. Das Deckenfeld verbleibt somit also immer unter der Belastung durch das aufgebrachte Gewicht und man ermittelt die von ihm wirklich getragene Höchstbelastung. An einer oder mehreren Stellen des Feldes pflegt man mit Millimetermaßstäben oder mit Feinmeßapparaten (Tellerapparate, Rollenapparate, s. I. S. 149) die Durchbiegung des Feldes zu messen.

In gleicher Weise verfährt man hinsichtlich der Belastung auch bei der Prüfung von Treppen.

c) Kleine Gebäude aus Steinen oder Gipsdielen usw. prüft man in der Regel auf Widerstandsfähigkeit gegen Feuer. Häufig handelt es sich bei solchen Versuchen auch um Prüfung besonderer feuersicherer Dachdeckstoffe, mit denen die Dächer des Versuchshäuschens eingedeckt werden, oder um feuersichere Fenster und Türen, die in die Häuschen eingebaut werden. In den Gebäuden wird ein Feuer entzündet, mit Pyrometern der erreichte Hitzegrad gemessen und nach bestimmter Zeitdauer der Feuereinwirkung mit Wasser-

strahl das Feuer gelöscht. Viele Baustoffe sind gegen diese Ablöschung im stark erhitzten Zustande empfindlicher als gegen die eigentliche Feuerwirkung. Sie zerspringen oder werden vollkommen zerstört, sobald der kalte Wasserstrahl sie im hocherhitzten Zustande trifft. Die Versuchsergebnisse werden meistens durch Lichtbild-



aufnahme des Häuschens vor und nach den Versuchen erläutert.

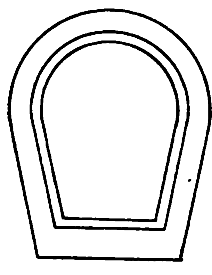
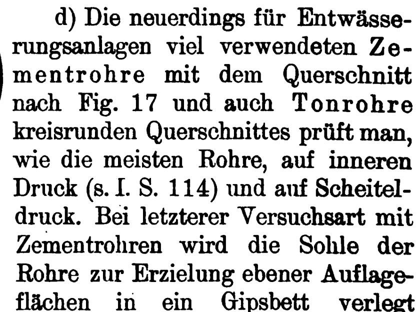


Fig. 17. Zementrohr.



d) Die neuerdings für Entwässerungsanlagen viel verwendeten Zementrohre mit dem Querschnitt nach Fig. 17 und auch Tonrohre kreisrunden Querschnittes prüft man, wie die meisten Rohre, auf inneren Druck (s. I. S. 114) und auf Scheiteldruck. Bei letzterer Versuchsart mit Zementrohren wird die Sohle der Rohre zur Erzielung ebener Auflageflächen in ein Gipsbett verlegt und auf der Scheitellinie eine Zementleiste angebracht, auf die ein nach Länge und Breite entsprechend geformtes Druckstück einer hydraulischen Presse wirkt. Bei Tonrohren werden zwecks gleichmäßiger Druckverteilung die Unebenheiten des Rohres durch zwischengesteckte kleine Holzkeile aus weichem Holz ausgeglichen*).

Das Rohrmaterial wird ferner geprüft auf Wasserdichtigkeit, Wasseraufnahme, Verhalten gegen Säuren und Laugen, Frostbeständigkeit, Glasurbeständigkeit (Tonrohre) und Zementmischung (Zementrohre) nach den bereits mitgeteilten Versuchsverfahren.

---

*) In den „Mitteilungen" erschien neuerdings über die *Prüfung von* Rohren eine Veröffentlichung von Stock und *Burchartz.*

III. Papierprüfung.

1. Begriffsfeststellung. — Geschichtliches und Statistisches. — Prüfungsvorschriften.

Papier ist bekanntlich ein in Form von dünnen oder dicken Blättern aus Lumpenfasern (Leinen, Hanf, Baumwolle), Zellstoffen (Holz, Stroh, Esparto-Jute usw.) oder aus Holzschliff hergestelltes biegsames Erzeugnis.

a) Für die Papierherstellung werden die gehörig zerfaserten Rohstoffe nach dem Reinigen und Bleichen zu einer wässerigen, breiförmigen Fasermasse angemacht; auf siebartigen Drahtgeflechten wird die Fasermasse in dünnen, gleichförmigen Schichten ausgebreitet, was entweder durch Eintauchen der Siebrahmen von Hand in die Faserstoffbütten (Handpapiere, Büttenpapiere) oder durch Siebmaschinen (Maschinenpapiere) geschieht. Die so hergestellten Faserstoffschichten werden mit Hilfe von Pressen von der Hauptmenge des Wassers befreit (Gautschen); den Rest des Wassers beseitigt man durch Verdunstung (geheizte Trockentrommeln usw.). Um zu verhindern, daß mit Tinte aufgetragene Schrift zerfließt, wird der Papierstoff meist mit Harzleim, seltener mit tierischem Leim geleimt, was bei Büttenpapieren gewöhnlich durch Eintauchen der fertigen Papierblätter in die Leimlösung geschieht, während bei Maschinenpapieren in der Regel das Leimungsmittel schon der breiförmigen Fasermasse im Holländer oder in der sogenannten Stoffbütte zugesetzt wird.

b) Anfänglich stellte man fast alle Papiere aus Lumpen her und erzeugte dadurch meist ein dauerhaftes festes Papier; noch heute werden ja bekanntlich die besten Papiere aus Lumpen hergestellt. Mit dem durch den Kulturfortschritt in den Papier erzeugenden Ländern

enorm gesteigerten Papierverbrauch stellte sich jedoch nach und nach infolge der immer mehr zunehmenden Verwendung minderwertiger Beimengungen und Zusatzstoffe eine immer geringer werdende Durchschnittsqualität der Papiere ein, die in Deutschland in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts zu Bedenken erregender Verschlechterung des Papieres führte. In Ansehung der Gefahren, die mit der Verwendung nicht genügend ausdauerfähiger Papiere bei den Staatsbehörden für wichtige Schriftstücke (Standesamtsurkunden, wichtiges Aktenmaterial usw.) verbunden waren, entschloß sich anfangs der 80er Jahre die preußische Staatsverwaltung zur Errichtung einer amtlichen Papierprüfungsstelle und zur Herausgabe von „Bestimmungen über das von Staatsbehörden zu verwendende Papier". Die Bestimmungen haben im Laufe der Jahre mehrfache Umarbeitung erfahren, die neueste Ausgabe trägt das Datum: 28. Jan. 1904. Von großer wirtschaftlicher Tragweite ist besonders die Bestimmung über die Einprägung eines Wasserzeichens in jedes für amtliche Zwecke verwendete Papier geworden. Das Wasserzeichen gibt Namen und Sitz der herstellenden Firma sowie die Klassenbezeichnung des Papieres durch eine Zahl mit Hinzufügung des Wortes „Normal" (z. B. Normal 3a, Normal 3b) an. Mit dieser Klassenbezeichnung hat der Fabrikant eine bestimmte Stoffzusammensetzung und Festigkeit des Papieres zu gewährleisten; aus jeder größeren Lieferung an Behörden werden Stichproben entnommen und amtlich daraufhin geprüft, ob die durch das Wasserzeichen gewährleisteten Bedingungen erfüllt sind. Ist dies nicht der Fall, wird die ganze Lieferung zurückgewiesen und der Lieferant, falls seine Lieferungen mehrmals nicht befriedigten, von weiteren Lieferungen an Behörden aus-

geschlossen. Daß die Einführung dieser Bestimmungen nicht nur im Interesse der Papierverbraucher, sondern auch auf die Konkurrenzfähigkeit unserer heimischen Papierfabrikation gegenüber dem Welthandel wirken konnte, liegt auf der Hand. Die Behörden erhalten jetzt ein zuverlässiges Papiermaterial, das ausdauerfähige Akten gewährleistet; dem großen Publikum kommt die Einführung des Wasserzeichens insofern zustatten, als es dadurch in den Stand gesetzt ist, gute Papiere für wichtige Verwendungszwecke sich zu beschaffen. Die Papierindustrie aber hat durch das planmäßige Hinarbeiten auf die Erzeugung bester Papiere aus gegebenem Rohmaterial so wertvolle Erfahrungen gesammelt, daß sie den Wettbewerb mit dem Auslande jetzt mit erheblich größerem Erfolge bestehen kann als früher. Nach statistischen Nachweisungen hat die Durchschnittsgüte deutscher Papiere in den letzten drei Jahrzehnten sich ganz gewaltig gebessert.

c) Die amtlichen Vorschriften teilen die Normalpapiere in die nachstehenden Stoff-, Festigkeits- und Verwendungsklassen ein.

Stoffklassen I—IV.

Klasse I. Papiere nur aus Hadern (Leinen, Hanf, Baumwolle).

Klasse II. Papiere aus Hadern mit höchstens 25 % Zellstoff (aus Holz, Stroh, Esparto, Jute, Manila, Adansonia usw.), jedoch unter Ausschluß von verholzten Fasern.

Klasse III. Papiere von beliebiger Stoffzusammensetzung, jedoch unter Ausschluß von verholzten Fasern.

Klasse IV. Papiere von beliebiger Stoffzusammensetzung.

Aschengehalt der Papiere aller Stoffklassen beliebig. Jedes Papier muß eine seinem Verwendungszweck entsprechende Leimfestigkeit besitzen.

Der § 10*) der Bestimmungen vom Jahre 1891 schreibt vor:

„Zur Erklärung des Wesens der Prüfungen und der in den nebenstehenden Tabellen sowie in den auszugebenden Prüfungszeugnissen gebrauchten technischen Ausdrücke ist folgendes zu bemerken:

Die Ausdauerfähigkeit und Güte eines Papiers ist im wesentlichen durch seine Stoffzusammensetzung und seine Festigkeitseigenschaften bedingt.

Zur Feststellung der Stoffzusammensetzungen dient vornehmlich die mikroskopische Untersuchung. Zurzeit gilt die Erfahrung, daß die Lumpenfasern das ausdauerfähigste Material geben; am wenigsten ausdauerfähig sind die Papiere mit Holzschliff. Die mikroskopische Untersuchung kann auch zugleich angenähert die Mengenverhältnisse der Faserstoffe feststellen.

Der Aschengehalt gibt diejenigen Papierbestandteile an, welche beim Verbrennen und darauffolgenden Glühen als unverbrennlich zurückbleiben; sie betragen bei Papier, dem keine mineralischen Füllstoffe zugesetzt sind, höchstens drei Prozent. Die mineralischen Füllstoffe dienen dazu, das Papier im Aussehen und Griff besser, es druckfähiger, billiger oder schwer zu machen. Die zulässigen Grenzen sind in den ‚Vorschriften'**) gegeben.

---

*) In den neuesten Vorschriften von 1904 ist dieser § 10 nicht mehr enthalten, weil durch die vieljährige Praxis der amtlichen Papierprüfungen solche Erläuterungen in den Vorschriften sich für die in Frage kommenden Interessenten erübrigten.

**) Gemeint sind die Vorschriften 1891, diese schreiben vor für Stoffklasse I nicht mehr als 3 % Asche, für Stoffklasse II nicht mehr als 5 % Asche, für Stoffklasse III nicht mehr als 15 % Asche, für Stoffklasse IV beliebiger Aschengehalt. In *den neueren* Vorschriften ist diese Beschränkung rücksichtlich *des Aschegehaltes* weggelassen worden, weil sie für die Güte *d Haltbarkeit* des Papiers nicht in Frage kommt.

Festigkeitsklassen 1—6.

Klasse	Mittlere Reißlänge in Metern	Mittlere Dehnung in Hundertsteln der ursprünglichen Länge (%)	Zahl der Doppelfalzungen nach Schopper*)	Falzklassen	Bemerkungen
1	6000	4	190	0 = 0— 2 Doppelfalzungen	Bruchlast, Dehnung und Falzklasse werden bei 65 % relativer Luftfeuchtigkeit ermittelt. Der Berechnung der Reißlänge wird das Gewicht der bei 100 C° getrockneten Probestreifen zugrunde gelegt.
2	5000	3,5	190	1 = 3— 6 „	
3	4000	3	80	2 = 7— 19 „	
4	3000	2,5	40	3 = 20— 39 „	
5	2000	2	20	4 = 40— 79 „	
6	1000	1,5	3	5 = 80—189 „	
				6 = 190—999 „	
				7 = 1000 und mehr „	

*) In den älteren Bestimmungen wurde hier die Klasseneinteilung nach den Ergebnissen der Handknitterung (s. S. 91) angegeben.

Verwendungsklassen 1—8c.

Klasse	Verwendungsart	Stoff-klasse	Reiß-länge m	Bruch-dehnung %	Doppel-falzungen	Bogen-größe cm	Gewicht für 1000 Bogen kg	Gewicht für 1 Quadr.-meter g
1	Papier für dauernd aufzubewahrende, besonders wichtige Urkunden					33 ×42	15	—
	Papier zu Kabinettsorders (Quartgröße)	I	6000	4,0	190	26,5×42	12	—
2	Papier zu Urkunden (s. a. Kl. 1), Standesamtsregistern, Geschäftsbüchern u. dgl.:							
2a	erste Sorte	I	5000	3,5	190	33 ×42	14	—
2b	zweite Sorte	I	4000	3	80	33 ×42	13	—
3	Aktenpapier f. l. als 10 Jahre aufzubew. Schriftstücke:							
3a	Kanzleipapier					33 ×42	13	—
	Briefpapier (Quartgröße)	II	4000	3	80	26,5×42	10,4	—
	desgl. (Oktavgröße)					26,5×21	5,2	—
	Schreibmasch. - Durchschlagpap.	II	4000	3	80	33 ×42	7	—
3b	Konzeptpapier	II	3000	2,5	40	33 ×42	13	—
4	Aktenpap. für Schriftstücke v. geringerer Bedeutung u. kürz. Aufbewahrungsfrist:							
4a	Kanzleipapier	III	3500	2,75	40	33 ×42	12	—

	Briefpapier (Quartgröße)	III	3500	2,75	40	26,5×42	9,6	—
	desgl. (Oktavgröße)					26,5×21	4,8	—
4b	Konzeptpapier	III	3000	2,5	40	33 ×42	12	—
5	**Briefumschläge, Packpap.:**							
5a	erste Sorte	—	4000	3	80	—	—	—
5b	zweite Sorte	—	2000	2	20	—	—	—
	Gewicht d. Briefumschl. 5a u. 5b							
	1. Umschläge bis zur Größe 13×19 cm	—	—	—	—	—	—	70
	2. Größere Umschläge und Umschläge für Wertsendungen	—	—	—	—	—	—	115
	Gewicht des Packpapiers:							
	1. der Klasse 5a	—	—	—	—	—	—	130
	2. der Klasse 5b	—	—	—	—	—	—	115
6	**Schreibpap. zu untergeordn. Zwecken d. tägl. Verbrauchs*)**	—	2000	2	20	—	—	—
	oder	—	1000	1,5	3	—	—	—
7	**Aktendeckel**							
7a	für viel gebrauchte oder lange aufzubewahrende Akten	I	2500	3,5	—	36 ×47	81,2	480
7b	für andere Akten	III	2500	2,5	—	36 ×47	42,3	250
8	**Druckpapier:**							
8a	für wichtige, länger als 10 Jahre aufzubewahrende Drucksachen	I	3000	2,5	40	—	—	—
8b	f. weniger wichtige Drucksachen	III	3000	2,5	40	—	—	—
8c	zu untergeordneten Zwecken des täglichen Verbrauchs*)	—	2000	2	20	—	—	—
	oder	—	1000	1,5	3	—	—	—

*) Nur soweit in einzelnen Fällen erforderlich.

Das zu Schreibzwecken dienende Papier muß leimfest sein, damit es sich gut beschreibt und die Tinte nicht durchläßt.

Zu den Festigkeitseigenschaften rechnet man Festigkeit gegen Zerreißen, Dehnbarkeit und Widerstand gegen Zerknittern und Reiben.

Die Festigkeit des Papieres wird in zwei aufeinander senkrechten Richtungen (Maschinenrichtung und Querrichtung) bestimmt; als Grundlage für die Beurteilung dient das Mittel aus beiden Bestimmungen, die sogenannte mittlere Reißlänge. Man versteht unter Reißlänge diejenige Länge eines Streifens von gleichbleibender Breite und Dicke, bei welcher er, an einem Ende aufgehängt gedacht, infolge seines eigenen Gewichts abreißen würde.

Die Reißlänge, welche also von der Dicke und der Breite des Streifens unabhängig ist, nimmt zu mit der Güte des Papiers.

Die Bruchdehnung wird bei der Bestimmung der Reißlänge mitgemessen; sie drückt die Verlängerung des Probestreifens bis zum Zerreißen aus und wird in Prozenten seiner ursprünglichen Länge angegeben. Sie nimmt ebenfalls zu mit der Güte des Papiers.

Die Widerstandsfähigkeit gegen Zerknittern und Reiben kann nicht durch Zahlenwerte ausgedrückt werden, weil dieser Versuch nicht mit Hilfe von Apparaten*), sondern durch Knittern und Reiben mit der Hand ausgeführt wird. Die zur Bemessung des Widerstandsgrades angenommene

---

*) Inzwischen ist der Schoppersche Falzer in die amtliche Papierprüfung eingeführt worden. Deswegen schreiben die *neuen Vorschriften* von 1904 „Falzklassen" vor. (S. Tabelle: *Festigkeitsklassen* und S. 112.)

Skala, von den geringeren Sorten zu den besseren aufsteigend, ist folgende:

0 = außerordentlich gering,	4 = ziemlich groß,
1 = sehr gering,	5 = groß,
2 = gering,	6 = sehr groß,
3 = mittelmäßig,	7 = außerordentlich groß.“

Dieser Paragraph 10 gibt damit nahezu eine vollständige Übersicht über das Gebiet der Papierprüfung; nach der hier gegebenen Reihenfolge ist der Stoff auch im nachfolgenden geordnet.

2. Bestimmung der Stoffzusammensetzung und des Aschegehaltes.

Die Ermittlung der Stoffzusammensetzung geschieht, wie die Vorschriften besagen, in erster Linie mit Hilfe des Mikroskopes. Die Papiere bedürfen zur mikroskopischen Prüfung einer Vorbehandlung, da sie im gewöhnlichen Zustande nicht dafür geeignet sind. Sie werden für diesen Zweck wieder zu einem breiigen Stoffe zerfasert, indem man sie mit Wasser unter Zusatz von 5 Prozent Natronlauge aufkocht, beim Aufkochen tüchtig umrührt, die breiige Masse durch ein Sieb filtriert, zur Beseitigung der Lauge mehrmals auswäscht und den Faserbrei schließlich zur vollständigen gleichmäßigen Zerfaserung in einer Flasche mit Granaten kräftig durchschüttelt. Der abfiltrierte Stoff wird dann für Mikroskopierzwecke verwendbar.

a) Die Hauptgruppen der Faserarten werden im mikroskopischen Bilde durch Farbreaktionen unterschieden. Man benutzt (nach Herzberg, Papierprüfung S. 65. Berlin, J. Springer 1902) als färbende Lösungen entweder eine Jod-Jodkaliumlösung (Wasser 20 ccm, Jodkalium

2 g, Jod 1,15 g, Glyzerin 2 ccm) oder eine Chlorzinkjodlösung (hergestellt durch Vermischen zweier Lösungen von 20 g Zinkchlorid in 10 g Wasser und 2,1 g Jodkalium und 0,1 Jod in 5 g Wasser, Abgießen der klaren Flüssigkeit über dem abgesetzten Niederschlage und Zusetzen von einem Blättchen Jod). Herzberg gibt in seinem obenerwähnten Buche S. 66 nebenstehende Tabelle, aus der die Farbreaktionen der verschiedenen Fasergruppen zu ersehen sind.

b) Für die Farbreaktion mit Jod-Jodkaliumlösung wird ein Klümpchen des Faserbreies ohne weiteres auf einen Objektträger aufgetragen, mit Präpariernadeln (zweckmäßig aus Platin) ausgebreitet und nach Betupfen mit 1—2 Tropfen Lösung und Bedecken mit einem Deckgläschen unter das Mikroskop gebracht. Bei Verwendung der Chlorzinkjodlösung muß der Brei durch Aufdrucken auf porösen Ton oder Gips vor dem Zusatz von Lösung entwässert werden. Als zweckmäßigste Vergrößerung gibt Herzberg 150 fach linear an.

Es würde zu weit führen, die einzelnen Faserarten dem anatomischen Bau ihrer Zellen nach hier zu beschreiben. Sicherheit in der richtigen Erkennung der Faserarten wird man ohnedies nur durch mikroskopische Übung an der Hand von Versuchspräparaten sich aneignen können. Für eingehenderes Studium wird auf das mehrfach erwähnte Werk von Herzberg verwiesen.

Zu den verholzten Fasern (Gruppe I der Tabelle) gehört der sogenannte Holzschliff, der hauptsächlich aus Nadelhölzern, hin und wieder auch aus Laubhölzern (Birke, Pappel) hergestellt wird und nur für die Herstellung der minderwertigsten Papiersorten Verwendung findet (Zeitungsdrucke, schlechte Packpapiere). Er ist *der Feind aller* Papiersorten, die auf längere Dauer auf-

Fasern		Färbung in Jod-Jodkaliumlösung	Färbung in Chlorzinkjodlösung
Gruppe I Verholzte Fasern	Holzschliff, rohe Jute, schlecht aufgeschlossene Zellstoffe	teils leuchtend gelbbraun, teils gelb, je nach Schichtendicke und Verholzungsgrad	zitronengelb bis dunkelgelb
	Strohstoff	teils gelbbraun, teils gelb, teils grau	teils gelb, teils blau, teils blauviolett
Gruppe II Zellstoffe	Holzzellstoff und Adansonia	grau bis braun	blau bis rotviolett
	Stroh- und Jutezellstoff	grau	blau bis blauviolett
	Esparto	teils grau, teils braun	teils blau, teils weinrot
	Manilahanf	teils grau, teils braun, teils gelbbraun	blau, blauviolett, rotviolett, schmutziggelb, grünlichgelb
Gruppe III Lumpenfasern	Leinen, Hanf, Baumwolle	schwach bis dunkelbraun, dünne Lamellen fast farblos	schwach bis stark weinrot

bewahrt werden sollen; holzschliffhaltige Papiere zeigen schon nach kurzer Aufbewahrungsdauer Vergilbung und verfallen schließlich vollständig, weswegen man auch selbst für die minderwertigsten Schreibpapiere Holzschliff nicht zuläßt. Die bei den verholzten Fasern genannte rohe Jute, die aus Bastzellen verschiedener ostindischer Pflanzenarten stammt, wird für die Herstellung von Packpapieren, Zuckerpapieren, Briefumschlägen usw. benutzt.

In vielen Fällen wird es sich darum handeln, in den zu prüfenden Papieren nur die Anwesenheit von verholzten Fasern ohne Rücksicht auf die weitere Stoffzusammensetzung schnell festzustellen. In diesen Fällen wendet man Farbreaktionen an, die mikroskopische Beobachtung nicht erfordern. Eine Lösung von schwefelsaurem Anilin in 50 ccm Wasser färbt holzschliffhaltige Papiere hellgelb; eine Mischung von 1 g Phloroglucin mit 50 ccm Alkohol und 25 ccm konzentrierter Salzsäure gibt dem Papiere, auch wenn nur Spuren von Holzschliff enthalten sind, eine rote Färbung. Das von Wurster angegebene Reagens Dimethyl-paraphenylen-diamin, entweder verwendet als Lösung oder als Filtrierpapier, das mit der Lösung getränkt ist, verursacht mit holzschliffhaltigen Papieren in Berührung gebracht karmesinrote Färbung desselben. Die quantitative Bestimmung des Holzschliffes ist auf die Schätzung nach dem Grade der beobachteten Farbreaktion im Vergleich mit der Reaktion von Papieren, deren Holzschliffgehalt von der Fabrikation her bekannt ist, angewiesen. Analytische Methoden (Methylzahl nach Benedikt und Bamberger) sind mehrfach vorgeschlagen, haben aber allgemeinere Anwendung noch nicht gefunden.

Unter den Zellstoffen (Gruppe II der Tabelle) verarbeitet man für Papierbereitung Nadelholz- und Laub-

holzzellstoffe, unter letzteren hauptsächlich Birkenholzzellstoff und Pappelholzzellztoff.

Ferner finden Verwendung:

die Strohzellstoffe aus allen Arten von Stroh (Roggenstroh, Weizenstroh),

der Alfa- oder Esparto-Zellstoff, der von einigen, besonders in Spanien und Nordafrika vorkommenden Gräserarten stammt und ein dem Strohzellstoff ähnliches Rohmaterial liefert,

die Zellstoffe aus Jute, Manila und Adansonia, aus den Bastfasern verschiedener ostindischer Pflanzenarten (Corchorus, Musa) und aus dem Bast des in Afrika heimischen Affenbrotbaumes (Adansonia digitata).

Die einzelnen Faserarten können nur nach ihrem anatomischen Zellenbau im mikroskopischen Bilde unterschieden werden, wozu natürlich Übung erforderlich ist.

Für die Papierfabrikation können diese sämtlichen Zellstoffe nur im vollständig entholzten Zustande Verwendung finden, d. h. die eigentliche Holzsubstanz muß durch einen Aufschließungs- und Bleichprozeß entfernt werden. Die obenerwähnten Farbreaktionen (Phloroglucin usw.) lassen deutlich erkennen, wie weit die verwendeten Zellstoffe entholzt sind. Klemm schlägt die Beurteilung des Verholzungsgrades des Papiers nach dem Grade seiner Färbung in essigsaurer Lösung von Malachitgrün vor. Die Fasern werden durch diese Lösung um so tiefer grün gefärbt, je mehr sie Holzschliff enthalten.

Die dritte Fasergruppe sind die Lumpenfasern, die bekanntlich für die Herstellung der besten Papiere benutzt werden. Zu nennen sind die Baumwollfasern (Samenhaare einiger Gossypium-Arten), die Leinenfasern (Bastzellen der Flachspflanze), die Hanffasern.

Die Wollenfasern finden nur beschränkte Verwendung zur Herstellung von Schrenzpapier, Dachpappe usw.

Die Erkennung der einzelnen Faserarten unter dem Mikroskop wird noch durch die verschiedenen Mahlungszustände, in denen das Papier verarbeitet wurde, erschwert. Lassen die sogenannten „rösch“ gemahlenen Papierstoffe, d. h. die nur verkürzten, wenig ausgefaserten Stoffe, die Unterscheidung der Faserarten leichter zu, so ist ihre Erkennung bei sehr fein gemahlenen, sogenannten „schmierigen“ Stoffen, wie sie z. B. für Zigaretten- und feste Schreibpapiere Verwendung finden, bedeutend schwieriger.

Oft handelt es sich bei der Papierprüfung auch um Feststellung des Mengenverhältnisses, in dem die einzelnen Fasersorten im Papier vorhanden sind. Da man analytische Verfahren hierfür noch nicht kennt, ist man auf die Abschätzung des mikroskopischen Bildes im Vergleich mit Bildern von Papieren, deren Stoffzusammensetzung man kennt, angewiesen. Mit diesem Verfahren, dessen sachgemäße Anwendung geübte Beobachter erfordert, lassen sich natürlich immer nur Annäherungswerte geben, die aber für die Papierbeurteilung in den weitaus meisten Fällen ausreichend sind.

c) Die Aschebestimmung gibt Aufschluß über den Gehalt an unverbrennbaren, also anorganischen Bestandteilen im Papier. Anorganische Bestandteile können sich aus dreierlei Ursachen im Papiere vorfinden. Entweder stammen sie aus den Rohmaterialien, die häufig oxalsauren Kalk, kohlensauren Kalk und Kieselsäure enthalten, oder sie rühren vom Leimungsprozeß her, durch den gewöhnlich unverbrennbare Tonerdeverbindungen (Alaun) dem Stoffe beigemengt werden; sie können ferner als *sogenannte Füllstoffe* absichtlich dem Papier zugesetzt

sein. Im letzteren Falle bezweckt man entweder durch Zusatz von Permanentweiß, Gips, Asbestine, Talkum usw. Farbe und Aussehen des Papiers zu beeinflussen, oder durch Zusatz von Schwerspat das Gewicht zu erhöhen, was, da Papiere im Großhandel nach Gewicht verkauft werden, aus wirtschaftlichen Gründen geschieht.

Die amtlichen Papiervorschriften haben in ihrer neuesten Fassung den Aschengehalt der einzelnen Stoffklassen nicht mehr beschränkt. Gegen zu große künstliche Beschwerung der Papiere schützen die für die einzelnen Verwendungsklassen festgesetzten Festigkeitswerte, die nur innezuhalten sein werden, wenn nicht übermäßig Füllstoffe hinzugesetzt wurden.

Gelegentlich wird es indessen doch von Interesse sein, den Aschegehalt zu ermitteln. Man benutzt hierzu entweder die Postsche oder die Reimannsche Aschenwage. Bei beiden geschieht die Veraschung von 1 g Papier in einem Platinnetz; die Postsche Wage ermittelt das Aschegewicht mittels Zeigerwage und Bogenskala, die Reimannsche durch Wageschale und Gewichtsstücke.

Herzberg (Papierprüfung S. 51) gibt den mittleren Aschengehalt der Lumpen zu 3,06 %, den der Hanfe, Flachse, Jute- und Espartostoffe zu 1,11 %, den der Halbzeuge, Leinen usw. zu 0,74 %, den der Zellstoffe und des Holzschliffs zu 0,94 % an.

3. Chemische Papierprüfungen.

Die Behandlung der Papiere mit chemischen Agentien bezweckt die Ermittlung der Leimfestigkeit, der Art der Leimung, den Nachweis von Chlor und freien Mineralsäuren, die Prüfung des Papiers auf Neigung zur Vergilbung und etwaige Untersuchungen über die *Ursache* von Flecken im Papier.

a) Von den zu Schreibzwecken benutzten Papieren verlangt man Leimfestigkeit, d. h. eine Leimung, die dem Papier die zum Beschreiben erforderliche glatte Oberfläche gibt und bewirkt, daß mit Tinte aufgetragene Schriftzüge nicht auslaufen, sondern scharfe Ränder behalten, und die ferner die Schrift nicht durchschlagen läßt. In letzterer Hinsicht wird neben der Güte der Leimung auch die Dicke des Papiers von Einfluß sein; dickere Papiere werden weniger leicht die Schriftzüge durchschlagen lassen als dünnere.

Zur Prüfung der Leimfestigkeit sind mehrere Verfahren vorgeschlagen worden und auch im Gebrauch.

Ein einfaches Verfahren nach dem Vorschlage von Herzberg besteht in unmittelbarer Prüfung durch Beschreiben mit verschiedenen Tintensorten. Man zieht mit einer Ziehfeder, die immer möglichst gleichmäßig gefüllt wird und deren Spitzen unter möglichst gleichmäßiger Neigung gegen die Papierebene gerichtet sind, mehrere Strichgruppen auf das Papier. Um über die Güte der Leimung ein durch Zahlen ausdrückbares Urteil zu bekommen, trägt man die Striche mit wachsender Strichbreite, mit $^1/_2$ mm Breite beginnend und immer um $^1/_4$ mm zunehmend, auf und beobachtet, bei welcher Strichbreite die Tinte durchschlägt. Herzberg hält Kanzlei- und Konzeptpapiere für genügend leimfest, wenn $^3/_4$ mm breite Striche nicht mehr auslaufen oder durchschlagen.

Mehrfache Bearbeitungen hat das Prüfungsverfahren mit Eisenchloridlösungen erfahren: Leonhardi benutzt neutrale Eisenchloridlösung (Eisengehalt 1,531 %), mit der er unter Benutzung einer Ziehfeder (Federspitzen 1 mm auseinander) Striche auf das Papier zieht, nach deren Trocknen er ätherische Tanninlösung auf die Papierrückseite gießt. Mehr oder weniger mangel-

hafte Leimung des Papiers gibt sich hierbei infolge des in die Papiermasse eingedrungen Eisens durch mehr oder weniger deutliche Schwarzfärbung in der Nähe der Strichgruppen zu erkennen.

Post läßt einen Tropfen von 0,03 g Gewicht dieser Eisenchloridlösung aus einer besonders hergerichteten Pipette auf das Papier tropfen und ihn so viel Sekunden einwirken, wie das Quadratmeter des zu prüfenden Papieres in Gramm wiegt; der Rest wird dann mit Fließpapier aufgesaugt und die weitere Behandlung der Papierrückseite mit Tanninlösung wie bei Leonhardi vorgenommen.

Objektivere Beurteilung läßt das Verfahren von Schluttig und Neumann zu, das die Papiere in die vier Stufen: nicht leimfest — leimfest — sehr leimfest — außerordentlich leimfest, einteilt und vielfach Anwendung findet. Auf einem unter 60° gegen die Horizontalebene geneigten Papierblatte erzeugt man aus einer Pipette, die unter gleichbleibendem Winkel gegen die Papierebene geneigt ist und immer eine gleichbleibende Menge Flüssigkeit ausfließen läßt, drei Streifen im Abstand von je 3 cm voneinander durch eine Eisenchloridlösung (Mischung: 100 ccm Wasser — 2,9 g Eisenchlorid [= 1 g Eisen] 1 g Gummiarabikum [um größere Zähflüssigkeit zu erzielen] 0,2 g Phenol), die man aus der Pipette über das Papier fließen läßt. Fünfzehn Minuten nach Erzeugung der Striche werden auf der Rückseite des Papiers drei Striche rechtwinklig zu den mit Eisenchlorid erzeugten mit einer 1 prozentigen Tanninlösung mit 0,2 % Phenolzusatz hervorgebracht, so daß 9 Kreuzungspunkte der beiderseitigen Strichgruppen entstehen.

Nicht leimfest ist das Papier, wenn sich die Kreuzungsstellen *sofort* färben,

leimfest, wenn dies nach einigen Minuten geschieht,
sehr leimfest, wenn die inneren Kreuzungspunkte nach 24 Stunden schwachgraue Färbung zeigen,
außerordentlich leimfest, wenn die Kreuzungspunkte auch nach 24 Stunden noch keine Färbung zeigen.

An Stelle der ätherischen Tanninlösung empfiehlt Herzberg wässerige Lösung, weil Äther, als Harzlösungsmittel, in das Papier eindringt und so zu falschen Schlußfolgerungen beim Auftreten der Schwarzfärbung führen kann.

b) Zum Nachweis der verschiedenen Arten der Leimung, der tierischen, Kasein-, Harz- und Stärkeleimung, benutzt man verschiedene chemische Verfahren.

Tierische Leimung erkennt man nach dem Verfahren von Kiliani, indem man den durch Kochen des Papiers in Wasser erhaltenen Leimauszug mit einem Niederschlag von gelbem Quecksilberoxyd (erhalten durch Zusatz von Ätznatron zu einer Quecksilberchloridlösung) behandelt. Ist tierische Leimung angewendet, so färbt sich der Quecksilberniederschlag beim Kochen bald dunkelgrün und schließlich schwarz, indem Ausscheidung von metallischem, schwarzgefärbtem Quecksilber erfolgt.

Ein anderes Verfahren beruht auf einer Reaktion mit Gerbsäure, die in nicht zu verdünnter tierischer Leimlösung einen gallertartigen, dicken Niederschlag von gerbsaurem Leim erzeugt.

Wiesner empfiehlt, wenn es sich um Nachweis nur geringer Mengen tierischen Leimes handelt, die Verwendung des Millonschen Eiweißreagens (gleiche Teile von metallischem Quecksilber, rauchender Salpetersäure und Wasser), durch das bei tierischer, also eiweißhaltiger Leimung das Papier rot gefärbt wird.

Kaseinleimung weist man mit der Reaktion von Adamkiewicz (1 konz. Schwefelsäure, +2 Eisessig) nach; Kasein gibt sich beim Zusatz dieses Reagens zu der aus dem Papier durch Behandlung mit Borax oder verdünnten Laugen ausgezogenen Lösung durch rotviolette Färbung zu erkennen.

Für den Nachweis der Harzleimung sind mehrere Verfahren zu nennen. Das einfachste beruht darauf, daß ein alkoholischer Auszug aus dem Papier, mit destilliertem Wasser behandelt, milchige Trübung zeigt.

Bei Anwendung der Storchschen Reaktion nach dem Vorschlage von Morawski gibt sich Harzleimung beim Zusatz von konzentrierter Schwefelsäure durch rote bis violette Färbung der mit Essigsäureanhydrid behandelten Leimlösung zu erkennen.

Nach einem sehr einfachen Verfahren des Materialprüfungsamtes betupft man das Papier ein oder mehrere Male mit Äther; harzgeleimte Papiere zeigen nach dem Verdunsten des Äthers deutlichen Harzrand.

Stärke wird durch Betropfen des Papiers mit Jod-Jodkaliumlösung, die Blau- oder Violettfärbung des Papiers erzeugt, nachgewiesen.

c) Der Nachweis von Chlor und freien Mineralsäuren wird häufiger verlangt, obgleich sich diese nur selten frei im Papier vorfinden. Besondere Bedeutung erlangt diese Prüfung, wenn es sich um Papiere handelt, die zum Einwickeln und Verpacken metallischer Gegenstände (Nähnadeln, Messer, Stecknadeln usw.) benutzt werden. Nach Herzberg (Papierprüfung S. 120) genügt für solche Papiere die Lieferbedingung „chlor- und säurefrei“ durchaus nicht immer; es kommt vielmehr auch auf die Art der zu verpackenden Metalle an, die unter Umständen leicht mit anderen chemischen Be-

standteilen des Papiers, z. B. Schwefel, Verbindungen eingehen können, die die Metalle beschädigen. Vor allem sollten solche Papiere nur aus reinen Fasern, ohne alle sonstigen Zusätze hergestellt werden, da reine Faser die Metalle nicht angreift.

Chlor läßt sich leicht durch Kaliumjodstärkepapier nachweisen; die durch destilliertes Wasser angefeuchteten Papierstreifen werden auf das Reagenzpapier gelegt und erzeugen auf diesem blaue Streifen, wenn Chlor frei vorhanden ist.

Freie Mineralsäuren werden mit Hilfe von Kongorotpapier (Filtrierpapier, in kochende Lösung von Kongorot getaucht) leicht erkannt. Das Reagenzpapier färbt sich in dem Papierauszug (durch mäßiges, einstündiges Kochen des zu prüfenden Papiers in Wasser hergestellt) bei Anwesenheit von freien Säuren blau.

d) Da viele Papiere Neigung zu allmählicher oder schneller Vergilbung zeigen, ist es im Interesse mancher Verwendungszwecke von Wert, festzustellen, inwieweit das Papier zur Vergilbung neigt. Vergilbung zeigt sich besonders bei Papier mit verholzten Fasern (Holzschliff) oder solchen, die mit nicht lichtechten Farben getönt sind. Licht und Wärme begünstigen den Fortschritt der Vergilbung. Nach Klemm (Klimschs Jahrbuch, Jahrg. 1901, S. 32) sind seifenartige Verbindungen des Eisens mit Harz- und Fettkörpern die Ursache der Vergilbung. Den Grad der Neigung zur Vergilbung kann man schätzen, wenn man in einem mit 1 prozentiger alkoholischer Natronlauge durch Kochen hergestellten Papierauszug etwaigen Harzgehalt der Leimung durch Salpetersäure ausfällt und der Lösung dann Rhodanammonium zusetzt; je nach dem Grade der dann eintretenden Rotfärbung der Lösung kann man den Grad der Neigung zur Vergilbung beurteilen.

e) Die Ursache von Flecken im Papier ist gleichfalls oft Gegenstand der Prüfung. Flecken können nach Valenta (Valenta, Das Papier, Halle a. S. 1904, W. Knapp) herrühren: 1. von der Einbettung von Metallsplittern in den Faserschichten (Nachweis durch Eintauchen des mit Salpetersäure behandelten Papieres in Lösung von gelbem Blutlaugensalz. — Eisen blaue, Kupfer braunrote Flecken); 2. von Farbkörnchen, welche ungelöst oder unzerteilt in den Stoff gelangt sind (Nachweis durch Benetzen mit Wasser oder Alkohol unter Drücken mit einem Glasstab. — Flecken fließen auseinander); 3. von Stoffknötchen oder Faserbündeln (Nester); 4. von Schabstoff der Naßpresse oder der Trockenzylinder (Nachweis zu 3 und 4 durch mikroskopische Prüfung) von trockenem Schaum des Siebtisches; 5. von Harz- oder Stärkeflecken (Leimflecke) (Nachweis an der Löslichkeit der Flecken in Äther oder Alkohol); 6. von Unreinheiten des Holzschliffes und der anderen Faserstoffe oder der Mineralzusätze; 7. von Pilzbildung (Nachweis zu 6 und 7 durch das Mikroskop); 8. von Fett- und Ölzusatz (Nachweis durch Beseitigen der Flecke beim Behandeln mit Benzin, Chloroform); 9. von der Einwirkung anhaltend hoher Wärmegrade.

4. Physikalisch-mechanische Prüfungen.

Zu ihnen sind zu rechnen: die Ermittelung der Festigkeitseigenschaften des Papiers, die Bestimmung des Quadratmetergewichts und der Dicke des Papiers sowie die Prüfung von Lösch- und Filtrierpapieren auf Saug- und Scheidungsfähigkeit.

a) Unter den Festigkeitseigenschaften kommen für den Papierprüfer die Zerreißfestigkeit, die

Dehnung und der Widerstand gegen Zerknittern bzw. gegen Falzen (Biegungsfestigkeit) in Frage.

Wenn auch die Festigkeitseigenschaften des Papiers bei seiner Verwendung nicht so offenbar in Erscheinung treten, wie die Stoffzusammensetzung, Leimung usw., so bildet ihre Feststellung doch einen überall gebräuchlichen und einwandfrei durchführbaren Gütemaßstab. Gute Festigkeit läßt auf gute Stoffzusammensetzung schließen, großer Widerstand gegen Zerknittern ist wertvolles Anzeichen für die Dauerhaftigkeit des Papiers.

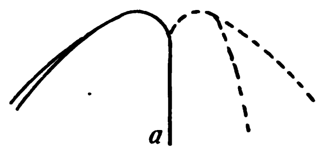


Fig. 18.
Bestimmung der Maschinenrichtung (Papier).

Die Zerreißfestigkeit ermittelt man bei Maschinenpapieren in der sogenannten Maschinenrichtung, d. h. in der Richtung, in der das Papier durch die Maschinen gelaufen ist, und in der Querrichtung, senkrecht zur Maschinenrichtung. In ersterer Richtung zeigt das Papier die größte, in letzterer Richtung die kleinste Zerreißfestigkeit. Zur Bestimmung der beiden Richtungen feuchtet man ein kreisrundes Stück Papier von etwa 10 cm Durchmesser in Wasser an und legt den Bogen auf die flache Hand; das Papier wird sich dann senkrecht zur Maschinenrichtung zusammenkrümmen. Nach dem Vorschlage von Nickel legt man zwei Streifen des Papiers der beiden Richtungen aufeinander, faßt die beiden Enden *a* (s. Fig. 18) mit Daumen und Zeigefinger und hält sie senkrecht. Bleiben beide Streifen mit den freien Enden aufeinander liegen (linke Seite der Figur), so liegt die Maschinenrichtung unten, klaffen sie hingegen *auseinander (rechte* Seite der Figur), so liegt sie oben.

Laufd. Nr.	Art des Papiers	Reißlänge km		Verhältnis von Quer- zu Maschinen-richtung	Bruchdehnung %		Verhältnis von Quer- zu Maschinen-richtung
		Quer-richtung	Maschinen-richtung		Quer-richtung	Maschinen-richtung	
1	Schreibpapier	1.57	4.73	33 : 100	1.7	1.5	113 : 100
2	"	2.21	5.46	39 : 100	2.4	1.9	126 : 100
3	Packpapier	3.76	9.76	39 : 100	4.6	2.1	219 : 100
4	"	4.25	9.06	47 : 100	6.7	2.8	239 : 100
5	Konzeptpapier	3.57	7.01	51 : 100	4.1	1.4	293 : 100
6	Schreibpapier	4.06	4.79	85 : 100	4.5	3.3	136 : 100
7	"	4.22	4.80	88 : 100	3.2	2.0	160 : 100
8	Urkundenpapier	6.05	6.76	90 : 100	6.4	4.9	131 : 100
9	Schreibpapier	4.22	4.69	90 : 100	3.0	2.0	150 : 100
10	Kanzleipapier	4.05	4.44	91 : 100	4.6	3.2	156 : 100
11	Schreibpapier	4.37	4.60	95 : 100	6.3	3.3	191 : 100
12	"	4.11	4.17	99 : 100	4.1	2.4	171 : 100

Als Maß für die Zerreißfestigkeit wird durchweg die Reißlänge (s. I. S. 11 und II. S. 34), als Dehnung die Längenänderung in Prozenten der Probenlänge angegeben. Mit Feinheitsnummer pflegt man den Quotienten $\frac{\text{Probenlänge}}{\text{Gewicht des Probestreifens}}$ zu bezeichnen. Produkt aus Feinheitsnummer mal Bruchbelastung ergibt die Reißlänge.

Die Werte für Reißlänge und Dehnung weisen für das gleiche Papier erheblich verschiedene Größen auf, je nachdem man in Maschinen- oder in Querrichtung prüft, wie aus vorstehender Tabelle (S. 105), die Herzbergs Papierprüfung (S. 2) entnommen ist, hervorgeht.

Beide Maße (Reißlänge und Bruchdehnung) sind ferner in hohem Maße abhängig vom Feuchtigkeitsgrade des Papieres, also auch vom Feuchtigkeitsgehalte des Versuchsraumes. Herzberg fand für die Reißlänge eines guten Schreibpapieres Werte von 1,5 bis 4,6 km, für die Dehnung von 4,8 bis 2,1 %, je nachdem sich der Feuchtigkeitsgehalt zwischen 100 und 30 % bewegte. Die amtlichen Prüfungen werden bei einer Luftfeuchtigkeit von 65 % ausgeführt; zu beachten bleibt stets, daß die Papiere mindestens $\frac{1}{2}$ Stunde brauchen, um die Feuchtigkeit anzunehmen. Dalén (Mitteilungen 1900, S. 133) gibt in nachstehender Tabelle Faktoren an, mit denen Reißlänge und Dehnung, die bei Feuchtigkeitsgrenzen zwischen 40 und 80 % gefunden wurden, zu multiplizieren sind, wenn man die entsprechenden Werte für 65 % Luftfeuchtigkeit überschläglich errechnen will.

Relative Luftfeuchtigkeit %	Faktor für Reißlänge	Dehnung
80	1.18	0.80
75	1.11	0.87
70	1.04	0.93
60	0.97	1.08
55	0.94	1.16
50	0.92	1.25
45	0.90	1.36
40	0.88	1.47

Mit wachsender Feuchtigkeit nimmt sonach die Reißlänge ab und zwar aus zweierlei Gründen. Erstens wird das Einheitsgewicht des Papiers mit wachsendem Feuchtigkeitsgehalt größer, daher der Quotient $\frac{P}{g}$ (Reißlänge) kleiner zweitens wird; die Widerstandsfähigkeit des Papiers an sich mit zunehmender Feuchtigkeit geringer, weil die Festigkeit der Fasern durch das aufgenommene Wasser verringert ist.

Über den Einfluß der Probenform bei der Papierprüfung hat Martens eingehende Versuche angestellt. Er fand, daß die Breite der Versuchsstreifen keinen merklichen Einfluß auf Reißlänge und Bruchdehnung ausübt. Auch die Einspannlänge bleibt auf die Reißlänge ohne Einfluß, hingegen nimmt die Dehnung mit wachsender Probenlänge ab. Je kürzer die Proben sind, um so deutlicher ist der Einfluß auf die Dehnung, während er mit zunehmender Länge immer geringer wird. Die Versuche haben dazu geführt, daß man als Normalprobenform Streifen von 180 mm Länge und 15 mm Breite gewählt hat. Im Interesse der Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse ist tunlichst immer diese Probenform anzuwenden, wenn die Papiere nicht schon von vornherein

schmäler hergestellt werden (z. B. Bänder für Morse-Schreibapparate), oder wenn die Höchstleistung der zur Verfügung stehenden Zerreißmaschine nicht bei festeren Papieren (Kartons, Pappen usw.) schmälere Probestreifen bedingt.

b) Von den Zerreißapparaten hat neuerdings der Apparat von Schopper wegen seiner bequemen Hand-

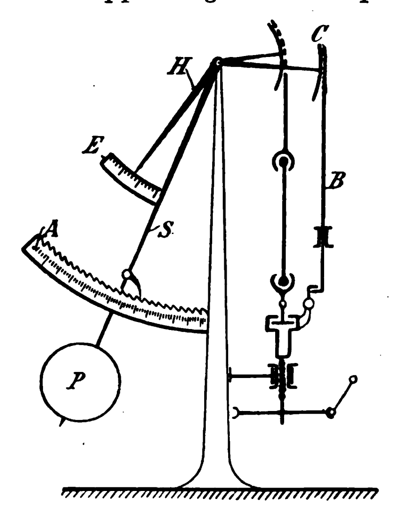


Fig. 19.
Zerreißapparat nach Schopper (Materialienkunde S. 358).

habung und zuverlässigen Wirkweise fast alle anderen verdrängt. Seine Bauart ist aus Fig. 19 (nach Martens, Materialienkunde S. 358) ersichtlich. Der Antrieb ist mechanisch mit Handrad und Stirnrädern, neuerdings wird *die Maschine* jedoch mit hydraulischem Antrieb durch *Wasserleitungs*druck geliefert. Die Kraftmessung erfolgt

durch eine Neigungswage (s. I. S. 130): der Pendelausschlag, als Maß für die Zerreißbelastung, wird an der Bogenskala *A* abgelesen, beim Eintreten des Bruches halten Sperrklinken die in die Verzahnung hinter der Bogenskala eingreifen, das Pendel auf der erreichten Höchststellung fest. Die mit fortschreitender Dehnung des Probestreifens erfolgende Zunahme der Entfernung zwischen den beiden Einspannklauen wird mit Hilfe der Zahnstange *B* und des Zahnsegments *C* auf den Hebel *H* übertragen, der um den Zapfen des Pendels *P* drehbar ist. Das mit Zeiger versehene untere Ende des Hebels *H* läuft auf der an der Pendelstange *S* befestigten Bogenskala *E* ab

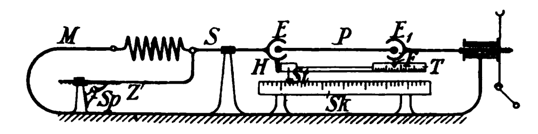


Fig. 20.
Zerreißapparat nach Wendler (Materialienkunde S. 362).

und gibt auf dieser die Dehnung des Papiers in Millimeter und in Prozenten einer Probenlänge von 180 mm an. Die Maschine wird für Kraftleistungen von 1, 10, 30, 100 und 500 kg gebaut.

Den älteren, Wendlerschen Festigkeitsprüfer veranschaulicht Fig. 20 (nach Martens, Materialienkunde S. 362). Sein Antrieb erfolgt durch Handrad oder Schneckenrad und Schraube, die Kraftmessung durch Spiralfedern (für 9 oder 20 kg Höchstbelastung). Der in Rillenschienen des Apparatgestelles bewegliche Schlitten *S* trägt an einem Ende die Einspannklaue *E*, während er mit dem anderen Ende an der Spiralfeder angreift, die am Maschinengestell *M* befestigt ist. Bei Belastung des

Probestreifens *P* schiebt der Schlitten mit Hebel *H* ein Messingblechplättchen mit Strichmarke *St*, entsprechend der elastischen Längenänderung der Spiralfeder, auf einer am Maschinengestell angebrachten Skala *Sk* (Kraftmaßstab) entlang. Zahnstange *Z* und Sperrklinke *Sp* halten die Spiralfeder nach dem Zerreißen des Papierstreifens in der äußersten erreichten Stellung fest, so daß aus der Stellung der Strichmarke *St* auf der Skala *Sk* die Zerreißlast abgelesen werden kann.

Die Dehnung in Prozenten der Probenlänge von 180 mm wird ermittelt aus der Verschiebung der Teilung *T*, die dem Wege des Schlittens folgt, gegen die Zeigermarke *F* an der Einspannklemme E_1.

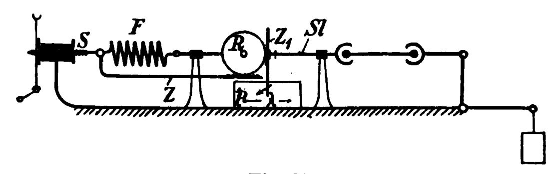


Fig. 21.
Zerreißapparat nach Hartig-Reusch (Materialienkunde S. 361).

Einer der ältesten Papierzerreißapparate ist der Apparat von Hartig-Reusch, dessen Bauart in Fig. 21 (nach Martens, Materialienkunde S. 361) dargestellt ist.

Der Antrieb erfolgt durch Handrad und wird durch Schraubenspindel *S* auf die Spiralfeder *F* übertragen, mit der die Kräfte gemessen werden. Ablesung der Belastung und Dehnung erfolgt aus einem von der Maschine aufgezeichneten Schaubild. Feder *F* wird entsprechend der Belastungsaufnahme durch den Probestreifen elastisch gedehnt und überträgt diese Verlängerung durch Zahnstange *Z* und Zahnrad *R* auf Zahnstange Z_1, die den Schreibstift trägt und die Belastung P als Ordi-

nate auf dem Schaubildpapier aufzeichnet. Entsprechend der Dehnung des Probestreifens wird Schlitten *Sl* mit Zahnrad *R* und Zahnstange Z_1 in der Pfeilrichtung bewegt und trägt dadurch die Dehnung als Abszissen in dem Schaubild auf. Der Apparat wird mit auswechselbaren Federn für 4, 9 und 18 kg Höchstbelastung geliefert.

Leuner hat den Hartig-Reusch-Apparat etwas abgeändert, indem er das Schaubild auf einer Papiertrommel, die in der Zugachse angeordnet ist und entsprechend der Probendehnung gedreht wird, verzeichnen läßt.

Andere Zerreißapparate, wie das Horacksche Dasimeter, die Apparate von Retjö und von Rehse sowie der Teclussche Papierprüfer, sind wenig in Gebrauch gekommen.

c) Die Bestimmung der Reißlänge und Dehnung gibt kein abschließendes Bild von den Festigkeitseigenschaften des Papiers. Für mannigfache Verwendungszwecke hat vielmehr der Widerstand gegen Zerknittern, Falzen usw., also die Biegefestigkeit des Papiers, die nicht immer vollkommen proportional mit der Reißlänge verläuft, größere Bedeutung.

Bisher war für die Prüfung nach dieser Richtung hin fast ausschließlich die sogenannte Handknitterung im Gebrauch, die als subjektive Probe der amtlichen Papierprüfung von den Interessenten viel angefochten wurde, aber bei sachgemäßer Ausführung eine durchaus einwandfreie Versuchsart darstellt und vor allem schnell und ohne Umstände auszuführen ist. Das Papier wird zunächst durch mehrmaliges Zusammenballen lappig gemacht und darauf, wie Wäsche beim Waschen, zwischen den Handballen hin und her gerieben, bis Bruch eintritt. Bei geringer Übung wird es jedem bald möglich sein,

die Papiere nach den in den Vorschriften (s. S 91) genannten acht Beurteilungsgraden: außerordentlich gering — sehr gering — gering — mittelmäßig — ziemlich groß — groß — sehr groß — außerordentlich groß, einzuordnen. Die minderwertigsten Papiere (z. B. schlechte Zeitungsdrucke) zeigen oft schon beim Zusammenballen Bruch.

Um objektive Prüfung zu ermöglichen, ist neuerdings durch die Vorschriften von 1904 an Stelle der Handknitterung die Falzung mit dem Schopperschen Falzer in die amtliche Papierprüfung aufgenommen worden. Den Konstruktionsgrundsatz dieses Apparates veranschaulicht Fig. 22 (nach „Denkschrift" S. 360). Der zwischen zwei Einspannbacken in der Pfeilrichtung durch eine Feder gespannte Papierstreifen wird durch den Blechschieber B zwischen den Rollen R hin nnd her bewegt. Die Anzahl der Hin- und Herbewegungen bis zum Zerreißen des Streifens wird durch ein Zählwerk gezählt. Der Antrieb des Apparates erfolgt entweder von Hand oder vermittels Elektromotors; beim Zerreißen des Probestreifens wird das Zählwerk selbsttätig ausgelöst. — Im Materialprüfungsamte haben zahlreiche Versuche ergeben, daß die Einordnung der Papiere mit dem Falzer in bezug auf den Grad ihrer Biegefestigkeit nahezu derjenigen mit der Handknitterung entspricht.

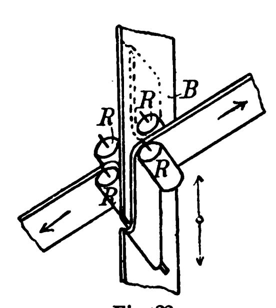


Fig. 22.
Schema des Schopperschen Falzers („Denkschrift" S. 360).

Andere Apparate für den gleichen Zweck, wie die *Kirchner*sche Kniffrolle und der Pfuhlsche *Knitterer*, haben sich bisher weniger Eingang verschafft.

Ihre Beschreibung findet man in Herzbergs „Papierprüfung".

d) Da der Papierhandel im großen nach Gewicht geschieht, so ist die Bestimmung des Quadratmetergewichtes gebräuchlich und auch in die amtlichen Vorschriften aufgenommen; diese verlangen für bestimmte Papiersorten bestimmte Quadratmetergewichte (s. S. 88). Für Reichsformat (33 × 42 cm) ergibt sich dieses durch eine einfache Rechnung:

$$\frac{\text{Gewicht von 10 Bogen in Gramm} \times 1000}{1386}$$

Es sind indessen auch Wagen im Gebrauch, die unmittelbare Ablesung des Quadratmetergewichtes gestatten.

e) Die Dicke des Papiers bestimmt man mit Dickenmessern, entweder nach Schopper oder Rehse (s. Herzbergs „Papierprüfung"), die nach dem Prinzip der Mikrometerschraube gebaut sind.

f) Die Güte der Löschpapiere beurteilt man nach ihrer Saugfähigkeit, am zweckmäßigsten mit dem Dr. Klemmschen Apparat. Bei diesem werden Streifen von 15 mm Breite, aus Maschinen- und Querrichtung entnommen, über einer mit Wasser gefüllten Schale neben Millimetermaßstäben frei aufgehängt und mit den unteren Enden in das Wasser getaucht. Maßgeblich für die Beurteilung der Saugfähigkeit ist die Höhe, bis zu der das Wasser in 10 Minuten angesaugt wird. Klemm (Papier-Industriekalender) hat folgende Abstufungen in Vorschlag gebracht.

Saughöhe nach 10 Minuten:	Saugfähigkeit:
weniger als 20 mm	ungenügend
20—40 mm	schwach
41—60 mm	mittel
61—90 mm	groß
mehr als 90 mm	sehr groß

g) Filtrierpapiere beurteilt man nach der Geschwindigkeit, mit der Flüssigkeiten durchlaufen, und nach der sogenannten Scheidungsfähigkeit, d. h. der Fähigkeit, fein suspendierte Teile zurückzuhalten.

Im ersteren Falle verwendet man zweckmäßig einen Apparat von Herzberg, der feststellt, wieviel Flüssigkeit unter bestimmtem Druck durch eine bestimmte Fläche des Papiers in einer Minute durchgeht.

Für die Ermittlung der Scheidungsfähigkeit filtriert man leicht durchgehende Niederschläge, wie Baryumsulfat, heiß oder kalt durch und beurteilt nach dem mehr oder weniger klaren Filtrate.

IV. Prüfung der Schmiermittel.

1. Allgemeines. — Arten der Schmiermittel.

Schmiermittel sind Stoffe, die die Aufgabe haben, die Reibung zwischen metallischen Flächen, also deren unmittelbare Berührung zu verhindern. Sie schützen die aufeinander gleitenden Maschinenteile vor schnellem Verschleiß und verringern ferner den Arbeitsaufwand, weil ihre innere Reibung erheblich geringer ist als die Reibung aufeinander gleitender metallischer Flächen.

Die große Bedeutung zuverlässiger Schmierung zwecks Erhaltung eines ordnungsmäßigen Betriebes von Maschinen jeder Art hat mit der wachsenden Maschinentechnik eine gewaltige Industrie der Schmiermaterialien hervorgebracht, die ihrerseits wiederum im Interesse der Verbraucher sorgfältige Schmiermittelprüfung bedingt.

Einheitlichkeit der Prüfungsverfahren nach amtlichen Vorschriften oder allgemein gültigen Normen ist in dem *Maße,* wie wir dies bei der Baumaterial- und Papier-*prüfung* fanden, bei der Schmiermittelprüfung noch nicht

erreicht worden. Neuerdings sind jedoch vom „Deutschen Verband für die die Materialprüfungen der Technik" Normen aufgestellt worden. Außerdem haben die an öffentlichen Prüfungsstellen erprobten und gebräuchlichen Versuchsverfahren fast überall in den Interessentenkreisen Eingang und regelmäßige Anwendung gefunden. Die folgenden Darstellungen beschränken sich auf eine kurze Aufzählung und knappe Beschreibung der bei Ölprüfungen im Königl. Materialprüfungsamte im Gebrauch befindlichen Verfahren. Eingehende Erörterung des Stoffes finden Interessenten in den in der Literaturübersicht genannten Sonderwerken.

Man verwendet Schmiermittel entweder in flüssiger (Öle) oder in vaselinartig fester bis salbenartiger Form (Staufferfett, Maschinenfett usw.). Unter den flüssigen Schmiermitteln unterscheidet man zwei große Gruppen: die sogenanten fetten Öle (und festen Fette) und die Mineralöle.

Die fetten Öle (und festen Fette) sind in der Hauptsache Verbindungen des Glyzerins mit Fettsäuren und können pflanzlichen (vegetabilischen) oder tierischen (animalischen) Ursprungs sein. Zu den fetten Ölen und festen Fetten werden oft auch die als Schmiermittel geschätzten sogenannten flüssigen und festen Wachse, wie Spermazetiöl und Wollfett usw., gerechnet, in denen die Fettsäuren aber nicht an Glyzerin, sondern an höhere Alkohole (Cholesterin usw.) gebunden sind.

Die vegetabilischen oder Pflanzenöle werden meist durch Auspressen der Samen und Früchte bestimmter Pflanzenarten unter hydraulischen Pressen gewonnen. Man erzeugt: Olivenöl, Rüböl, Senfsaatöl, Rizinusöl u. a. und verwendet als Zusätze: Erdnußöl oder die halbtrocknenden Baumwollsaatöle, Sesamöl und sogenannte *trocknende Öle*, wie Leinöl, Hanföl, Nußöl, Sonnenblumen-

u. a. Sowohl halbtrocknende als auch trocknende Öle sind natürlich als schädlich für die Lagerflächen usw. anzusehen, weil sie Eindicken und Festwerden der Schmierschicht veranlassen.

Die animalischen oder tierischen Öle werden entweder durch Ausschmelzen und Auskochen tierischer Stoffe oder durch Extraktion solcher Stoffe mittels geeigneter Agentien, z. B. Benzin, gewonnen. In Gebrauch kommen Klauenöle, Knochenöle oder Knochenfett, Spermazetiöl, Walöle und als minderwertigste Sorten die Trane.

Die fetten Öle haben auch in dünnsten Schichten die weitaus beste Schmierfähigkeit, sie dringen in die Poren und Unebenheiten der metallischen Gleitflächen gut ein, haften außerordentlich fest und würden somit wohl das idealste Schmiermittel darstellen, wenn sie nicht andere Eigenschaften besäßen, die ihre ausschließliche Verwendung als Schmiermaterial für den Maschinenbetrieb teilweise unzweckmäßig werden lassen.

Sie verharzen nämlich im unvermischten Zustande mehr oder weniger leicht, d. h. sie verlieren infolge Eintrocknens ihre flüssige Konsistenz und erhärten nach und nach zu einer harzigen Kruste, die die Reibung zwischen den zu schmierenden Flächen schließlich eher erhöht, als vermindert. Fette Öle sind ferner oft mehr oder weniger sauer; für Dampfzylinder, in denen sie durch gespannten Dampf in freie Fettsäure und Glyzerin zersetzt werden, sind sie wegen ihrer angreifenden Wirkung auf die Metalle nicht geeignet. Schließlich wird die allgemeine Verwendbarkeit fetter Öle durch ihren hohen Preis für den Großmaschinenbetrieb unwirtschaftlich. Einzelne Arten, insbesondere Knochenöle usw., finden indessen wegen ihrer vorzüglichen Schmierfähigkeit für feine Apparate und Mechanismen (*Apparateöl), für Chronometer* usw. ausgiebige Verwendung.

Weitaus größere, in neuerer Zeit fast ausschließliche Verwendung für den Großmaschinenbetrieb haben daher die verschiedenen, erheblich billigeren Mineralölsorten gefunden. Die Mineralöle sind die hochsiedenden (über 300° C) Bestandteile des Rohpetroleums, ihrer Hauptsache nach Kohlenwasserstoffe. Die Rohpetrole entquellen an verschiedenen Orten (Amerika: Kanada, Ohio, Pennsylvania, Kentucky; Rußland: Baku, Rumänien, Deutschland: Wietze bei Hannover, Elsaß) der Erde. Aus ihnen werden durch Destillation und Raffination die Mineralöle gewonnen. Sie haben vor den fetten Ölen den großen Vorzug, daß sie nicht verharzen, haben aber die Eigenschaft, mit wachsender Erwärmung ganz erheblich dünnflüssiger zu werden, d. h. an Schmierfähigkeit einzubüßen, weswegen für bestimmte Verwendungszwecke, wo die Flächen im Betriebe höheren Wärmegraden ausgesetzt werden (Dampfzylinder), Öle benutzt werden, die in kaltem Zustande sehr dickflüssig sind (Zylinderöle). Um ihre Schmierfähigkeit zu erhöhen, setzt man ihnen zuweilen fette Öle zu.

Holde (Untersuchung der Schmiermittel in Lunge, Chemisch-technische Untersuchungsmethoden. Berlin 1905. J. Springer) teilt die Mineralöle nach ihrer Verwendungsweise in folgende Klassen ein:

1. Spindelöle für Spinnereimaschinen, unter sehr geringem Druck gehende leichtflüssige Öle;
2. Eismaschinen- oder Kompressoröle, leichtflüssige Öle mit tiefliegender Erstarrungsgrenze;
3. Leichte Maschinen-, Transmissions-, Motoren- und Dynamoöle, mäßig zähflüssige Öle;
4. Schwere Transmissions- und Maschinenöle, zähflüssige Öle;
5. Dunkle Eisenbahn- und Lokomotivöle, zähflüssige Öle mit tiefliegender Erstarrungsgrenze;

6. Dampfzylinderöle, höchstsiedende Destillationsprodukte und Rückstände von sehr dickflüssiger bis salbenartiger Beschaffenheit, die bei Zimmerwärme oder wenige Grade über 0 zu dünnsalbigen Massen erstarren und vielfach grünschwarz und undurchsichtig zur Anwendung kommen.

Die Anforderungen, die man an ein gutes Schmieröl zu stellen hat, gipfeln in nachstehenden Punkten:

Große Schmierfähigkeit bei möglichst geringer innerer Reibung, Bildung möglichst dicker, auch bei hohen Drucken tragfähiger Schmierschichten und möglichst lange Ausdauer, d. h. möglichst geringe Veränderlichkeit des günstigsten Zustandes.

Die Prüfungen der Schmiermittel werden daher mechanischer, physikalischer und chemischer Natur sein. Mechanische und physikalische Prüfungen werden im großen und ganzen für alle Schmiermittelarten die gleichen sein können; chemische Prüfungen werden sich der chemischen Zusammensetzung sowie der Beeinflussung, die die Eigenschaften der Schmiermittel durch ihre chemischen Bestandteile erfahren, anzupassen haben, für die einzelnen Gruppen von Schmiermitteln also getrennt behandelt werden müssen. Der ganze Stoff gliedert sich hiernach wie folgt:

Mechanische Prüfungen,
Physikalische Prüfungen,
Chemische Prüfungen
- a) der Mineralöle,
- b) der fetten Öle.

Prüfung besonderer Schmiermaterialien
- a) der konsistenten Schmiermittel,
- b) der wasserlöslichen Öle.

2. Mechanische Prüfungen.

Es liegt nahe, daß man überall, wo regelmäßige eingehende Schmiermittelprüfung in Frage kam, zunächst bestrebt war, die Brauchbarkeit eines Schmieröles an Hand einer mechanischen Prüfung zu beurteilen, die den Gebrauchsverhältnissen des Öles in der Praxis nachgeahmt ist, mit der man also das Verhalten des Öles selbst in seiner Tätigkeit als Schmiermittel an besonders konstruierten Maschinen beobachtete. Man hat jedoch bald erkannt, daß diese Art der Prüfung kein erschöpfendes Bild von der Brauchbarkeit eines Schmiermittels zu geben vermag, um so mehr als es schwer ist, die Prüfung vollständig der vielseitigen Gestaltung der Praxis anzupassen. Sie ist nicht viel mehr als eine bloße Materialprüfung geworden, die wie alle Materialprüfungen der genauen Festsetzung und Innehaltung von Versuchsbedingungen nicht entbehren kann, wenn sie vergleichbare Ergebnisse liefern soll.

Eine große Anzahl von Maschinenkonstruktionen für die mechanische Ölprüfung sind im Laufe der Jahre entstanden; es würde zu weit führen, wollte man auch nur die Hauptvertreter der verschiedenen Konstruktionsgattungen hier beschreiben und würdigen. Die Beschreibung sei daher beschränkt auf die im Königl. Materialprüfungsamte für diese Zwecke benutzte Maschine, die nach den Angaben von Martens (vgl. „Mitteilungen" 1890, Erg.-Heft I) gebaut ist.

Die Maschine ist in Fig. 23 (nach „Denkschrift" S. 306) dargestellt. Sie mißt den Reibungskoeffizienten des Schmieröles nach der von Thurston angegebenen Methode als Ausschlag eines Pendels, das auf dem sehr sauber polierten und *durchaus run*den Versuchszapfen reitet. Der Zapfen, vor

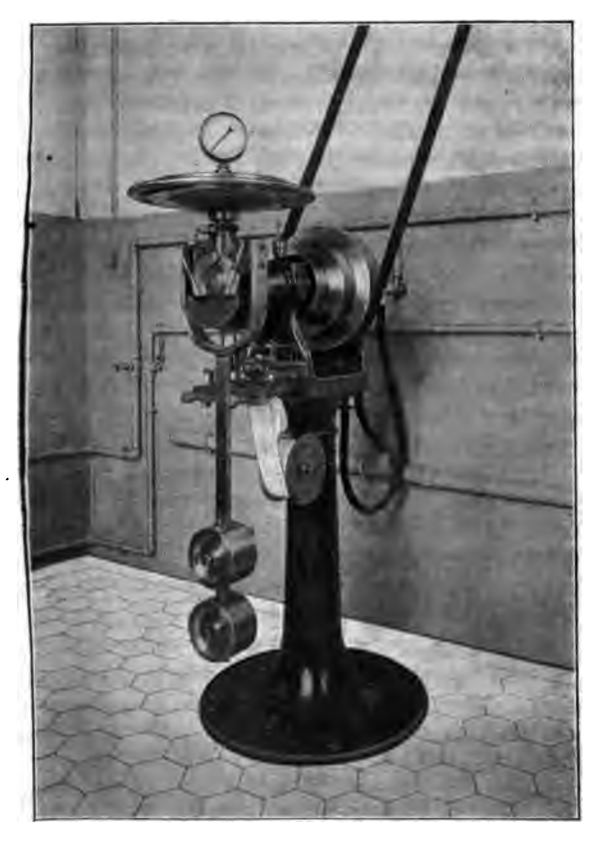


Fig. 23.
Schmierölprobiermaschine nach Martens
(„Denkschrift“ S. 306).

100 mm Durchmesser und 70 mm Länge, ist aus sehr zähem, dichtem Stahl hergestellt und auf der hohlen Versuchswelle befestigt, die mit Stufenscheiben und Vorgelege motorisch betrieben wird und mit 100, 200 und 400 Um-

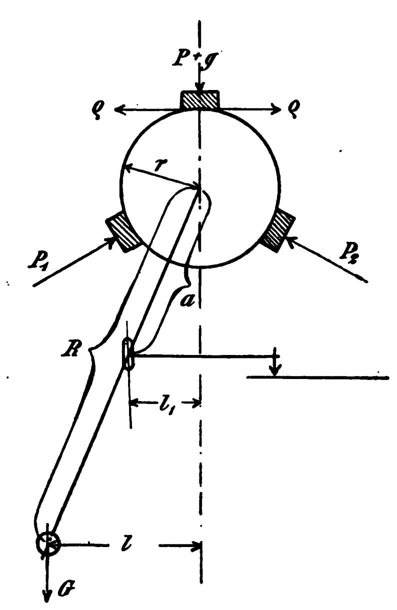


Fig. 24.
Schema der Schmierölprobiermaschine nach Martens.

drehungen in der Minute laufen kann. In den Pendelkopf sind drei Lagerschalen aus Rotguß eingelassen (s. Fig. 24), die mit der Gleitfläche der Zapfenrundung genau angepaßt sind und durch mehrere Tage langes Einlaufen mit Polierrot und Öl genau aufgeschliffen wurden. Zwischen Lager-

schalen und Versuchszapfen wird das Versuchsöl eingefüllt und aus einem Tauchbade, in das der Versuchszapfen 5—10 mm tief eintaucht, nachgefüllt. In den Lagerschalen sind die Quecksilbergefäße von winkelförmigen Stabthermometern in Metallspänen eingebettet, so daß ihre Wärme ständig beobachtet und durch die in die hohle Versuchswelle von hinten eingeführte Wasserkühlung auf bestimmter Höhe gehalten werden kann. Die Belastung der Schmierschicht geschieht durch einen oberhalb des Pendelkopfes angeordneten sogenannten Napolischen Druckerzeuger, einem meßdosenartigen Apparate (s. I. S. 132), dessen Druckstempel mit dem unteren Ende auf die obere Lagerschale drückt, während das obere Ende den Druck auf eine Gummimembran überträgt, über der sich Wasser, allseitig eingeschlossen, befindet. Der Druck, unter den das Wasser durch den Stempel gesetzt wird, gibt das Maß für die Belastung der Schmierschicht und wird am aufgeschraubten Manometer abgelesen. Der Versuch wird nun in der Weise durchgeführt, daß bei bestimmten Umdrehungszahlen des Versuchszapfens bestimmte Druckstufen eingestellt werden, bei denen unter Gleichhaltung bestimmter Wärmestufen der Lagerschalen der Ausschlag des Pendels an einer Teilung abgelesen und von einer Schreibvorrichtung aufgezeichnet wird. Dieser am Maßstab abgelesene Betrag für den Pendelausschlag multipliziert mit dem Quotienten $\frac{R}{Q}$ (R ist Abstand der Pendellinse vom Mittelpunkt und Q die Summe der Drücke auf die Lagerschalen $P + P_1 + P_2 +$ Gewicht des ganzen Pendels g) gibt den Reibungskoeffizienten des Versuchsöles. Die Druck- und Wärmestufen, bei denen unter einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 200 Touren pro Minute die Pendelausschläge bei den Versuchen im

Materialprüfungsamte abgelesen werden, ergeben sich aus nachstehender Tabelle:

$p=\frac{Q}{3f}$	7.5	20	35	48	61	75	88	101	114 Atm.
t	23.5	26.8	30.0	33.2	36.8	40.7	45.0	49.5°	C usf.

Die Versuche werden fortgeführt, bis starkes Unruhigwerden des Pendels anzeigt, daß infolge Belastung und Wärme der Schmierschicht die Schmierung durch das Versuchsöl unvollkommen wird. Vor jeder Versuchsreihe wird die Maschine mit Hilfe von reinem Normal-Rüböl auf ihre Richtigkeit hin geprüft. Die Reibungskoeffizienten dieses Normal-Rüböles unter bestimmten Versuchsbedingungen sind bekannt und müssen sich immer wieder ergeben, wenn die Maschine sich in ordnungsmäßigem Zustande befindet.

3. Physikalische Prüfungen.

Neben den mechanischen Prüfungen, die immerhin kostspielige Apparate erfordern und daher nicht immer leicht ausführbar sind, kommen in erster Linie die physikalischen Schmiermittelprüfungen in Betracht, die über die wichtigsten Eigenschaften der Schmiermittel, über die innere Reibung, über die Entflammung und Verdampfung, das Verhalten in der Kälte, das spezifische Gewicht und die Ausdehnung durch die Wärme, über die Beurteilung der Öle nach der äußeren Beschaffenheit und nach dem Ausfall optischer Prüfungen Aufschluß geben.

a) Die für die Praxis weitaus wichtigste Eigenschaft, *die innere Reibung*, deren Funktionen der Flüssig-

keitsgrad, die Zähflüssigkeit oder Viskosität des Öles sind, bestimmt man nach verschiedenen Verfahren, die entweder auf der Schwingung von Platten in dem Versuchsöl, oder auf der Schwingung des Öles in U-förmigen Rohren oder der Beobachtung der Ausflußzeit des Öles aus Rohren beruhen. Die beiden ersteren Verfahren haben größere praktische Verwendung nicht gefunden, hingegen sind eine größere Anzahl von Versuchsapparaten nach dem dritten Verfahren gebaut worden, von denen jedoch allgemeinere Einführung für die Prüfung an öffentlichen Prüfungsstellen und bei den größeren Interessentenkreisen nur der Apparat von Engler, das Englersche Viskosimeter, erfahren hat. Der Apparat mißt den Flüssigkeitsgrad (Viskosität) des Öles durch Beobachtung der Zeit, die 200 ccm Öl gebrauchen, um aus einem Gefäß von bestimmtem Inhalt durch ein Rohr von bestimmten Abmessungen mit bestimmter Anfangsdruckhöhe und bei bestimmter Temperatur auszulaufen. Als Wertziffer wird angegeben der Quotient:

$$\frac{\text{Ausflußzeit des Öles}}{\text{Ausflußzeit der gleichen Menge Wasser}} \quad (\text{bei } 20^0\,\text{C}),$$

also ermittelt, um wievielmal die Ausflußzeit des Öles größer ist als die des Wassers.

Miteinander vergleichbare Ergebnisse können natürlich auch bei dieser Prüfung nur erzielt werden, wenn man Apparate mit genau vorgeschriebenen Abmessungen verwendet. Der Englersche Apparat, wie er an amtlichen Prüfungsstellen Verwendung findet (vgl. Holde, „Mitteilungen" 1895, I. Erg.-Heft), ist in Fig. 25 dargestellt. Das innen vergoldete Ausflußgefäß *A* ist mit Markenspitzen *c*, bis zu denen das Öl aufgefüllt wird, und dem aus Platin hergestellten Ausflußröhrchen *a* ver-

sehen, welch letzteres mit Hilfe des Holzstiftes *b*, der durch den Gefäßdeckel geführt ist, verschlossen werden kann. Das Ausflußgefäß ist in dem äußeren Gefäß *B*

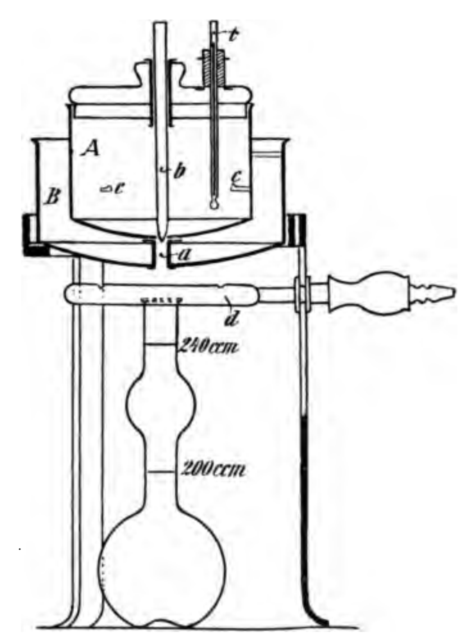


Fig. 25.
Viskosimeter nach Engler.

montiert, in dem die Erwärmungsflüssigkeiten eingefüllt und mit Hilfe des Kranzbrenners *d* erwärmt werden können. Die Wärme in dem Versuchsöl wird durch Thermometer *t* gemessen. Das Ganze wird von einem *Dreifuß* getragen, unter den der zum Auffangen des aus-

fließenden Öles dienende geeichte Meßkolben mit Strichmarken für 200 und 240 ccm Inhalt (bei 20° C) gestellt wird. Die vorgeschriebenen Abmessungen der Einzelteile sind nach Holde-Lunge (s. S. 117):

	Erlaubte Fehlergrenze
Rohrweite oben 2,90 mm, unten 2,80 mm	± 0,01 mm
Rohrlänge 20 mm	± 0,10 mm
Höhe der Markenspitzen über der oberen Ausflußöffnung 32 mm	± 0,30 mm
Weite des Gefäßes 105 mm	± 1,00 mm
Höhe des zylindrischen Teiles des Gefäßes 24 mm.	± 1,00 mm
Inhalt bis zu den Markenspitzen 240 ccm	± 4,00 ccm

Die Eichung des Apparates geschieht, indem man 200 ccm Wasser aus dem vorher sorgfältigst mit Äther und Alkohol gereinigten Gefäß ausfließen läßt und die Ausflußzeit mittels Chronometers mit Teilung nach $^1/_5$ Sekunden beobachtet. Apparate mit richtigen Abmessungen müssen hierbei Ausflußzeiten von 50—52 Sekunden ergeben.

Man bestimmt die Ausflußzeit der Öle bei Wärmestufen von 20—100° C je nach dem Verwendungszweck des Öles und den vorgeschriebenen Lieferbedingungen. Besonderes Augenmerk ist auf Innehaltung gleichmäßiger Wärme während des Versuchs zu richten; man bringt zweckmäßig das Erwärmungsbad vor dem Einfüllen des Öles auf die gewünschte Wärme, hat jedoch zu beachten, daß die genaue Auffüllung des Öles bis zu den Markenspitzen erst (wegen der Ausdehnung des Öles durch Wärme) *geschieht*, wenn das Öl annähernd die Versuchswärme *angenommen hat.* Nach Holde (Schmiermitteluntter-

suchung) darf für einwandfreie Messungen die Badwärme gegenüber der Ölwärme schwanken:

bei 20°	um	0,05—0,15°	C
bei 30°	„	0,20°	C
bei 40°	„	0,40°	„
bei 50°	„	0,60°	„

Für die Prüfung von Heißdampfzylinderölen, die bei Versuchswärmen bis zu 180° C ausgeführt werden, müssen hartgelötete Apparate mit Dampfbädern für Anilin- oder Nitrobenzolfüllung benutzt werden.

Um die gleichzeitige Beobachtung mit vier Apparaten bequem ausführen zu können, werden nach den Angaben von Martens vierfache Englersche Viskosimeter, d. h. vier Apparate in einem gemeinsamen Wasserbade eingebaut, verwendet. Damit eine gleichmäßige Erwärmung des Wasserbades erzielt wird, sind Rührwerke angebracht, die man im Laboratorium zweckmäßig durch kleine Rabesche Turbinen betreibt.

Um über die Wirtschaftlichkeit der Schmiermaterialen durch die Prüfung ein Urteil zu gewinnen, bestimmt man den Grad der Verdampfung des Schmiermaterials, d. h. man ermittelt, wieviel Prozent der ursprünglichen Ölmenge bei 100°, 200° usw. innerhalb bestimmter Zeiträume verdampfen. Praktisch tritt diese Verdampfung in Erscheinung, weil die durch die innere Reibung des Öles in Wärme umgesetzte Arbeit und bei bestimmten Verwendungszwecken auch die hohe Temperatur der zu schmierenden Flächen selbst starke Erwärmung des Schmiermittels hervorrufen und dadurch nach und nach Aufbrauchen des Schmiermittels infolge von Verdampfung verursachen. Je nach der mehr oder minder großen Verdampfbarkeit des verwendeten Schmiermittels wird man in kleineren

oder größeren Zeiträumen neuen Schmierstoff zuführen müssen, wenn die gleitenden Flächen vor gegenseitiger Berührung geschützt werden sollen. Die Verwendung eines Öles mit guter Schmierfähigkeit wird daher unwirtschaftlich werden, wenn dieses schon bei relativ niedrigen Temperaturen zur Verdampfung neigt.

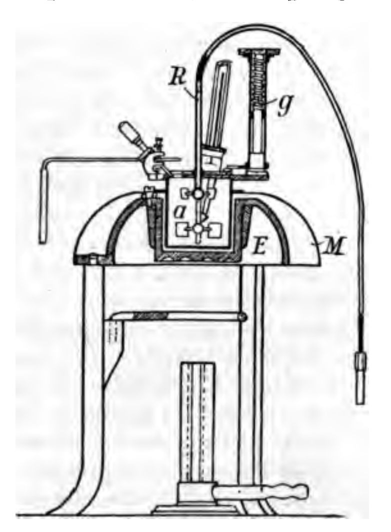


Fig. 26.
Flammpunktsprüfer nach Pensky-Martens.

Nur selten, neuerdings allerdings öfter, prüft man das Öl nach dieser Richtung hin, indem man die Verdampfungsmenge unmittelbar bestimmt. Gute Zylinderöle z. B. sollen bei zweistündiger Erhitzung auf 300° höchstens 0,2 % Verdampfungsmenge zeigen. Fast allgemein urteilt man vielmehr hinsichtlich der Verdampfung nach der Lage d...

Flammpunktes (Temperatur der Entflammung) und des Brennpunktes.

b) Für die Bestimmung des Flammpunktes findet der Apparat von Pensky-Martens (vgl. „Mitteilungen" 1889, Erg.-Heft V) an den meisten Stellen Verwendung. Der Apparat (s. Fig. 26) hat ein mit Deckel versehenes Gefäß *a* bestimmter Abmessungen, in das das zu prüfende Öl bis zu einer Marke eingefüllt wird. Das Gefäß ist in dem Eisenkörper *E* eingebaut, der mit Messingmantel *M* versehen ist. Das Öl erwärmt man unter Umrühren durch das Rührwerk *R* mit Hilfe des Dreibrenners und bringt, etwa von 120° an, die durch Leuchtgas oder Rüböl gespeiste Zündflamme zum Eintauchen in das Ölgefäß, wobei man beobachtet, bei welcher Temperatur Entflammung der Dämpfe in dem Gefäßraum stattfindet. Das Eintauchen des Zündflämmchens, das mit Hilfe des Griffes *g* mechanisch geschieht, wiederholt man zweckmäßig bei jeder Wärmesteigerung um 1° C. Parallelbestimmungen des Flammpunktes mit der gleichen Ölsorte dürfen höchstens um 3° C voneinander abweichende Ergebnisse liefern. Stark wasserhaltige Öle müssen vor dem Versuch durch Schütteln mit Chlorkalzium und nachherigem Filtrieren entwässert werden, da sonst häufiges Verlöschen des Zündflämmchens beim Versuch die Beobachtung stört.

Ist die Entflammungstemperatur des Öles infolge des Zusatzes von Petroleum so tiefliegend, daß sie nicht mit ausreichender Genauigkeit im Pensky-Martens-Apparat bestimmt werden kann, so benutzt man den Abelschen Petroleumprober, der nach dem gleichen Prinzip wie der Penskysche Apparat gebaut ist. Das innen verzinnte Messinggefäß zur Aufnahme des Petroleums wird in ein Kupfergefäß von größerem Durchmesser, das im Wasser-

bade eingebaut ist, eingehängt. Durch ein Triebwerk wird ein Zündflämmchen in gleichen Zeitabständen automatisch in das erwärmte Ölgefäß eingetaucht und die Temperatur, bei der die Dämpfe entflammen, festgestellt. Der Apparat gestattet, den Flammpunkt bis auf $\pm$ 0,5° C genau zu ermitteln.

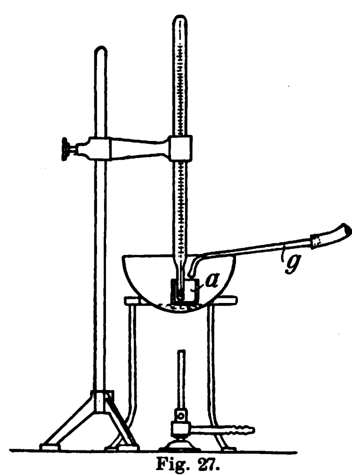


Fig. 27.
Flammpunktsbestimmung im offenen Tiegel (Eisenbahnvorschriften).

Der Einfachheit wegen ist an vielen Prüfungsstellen (Eisenbahnverwaltungen) auch die Bestimmung des Flammpunktes im offenen Tiegel gebräuchlich. Die Lieferungsbedingungen der preußischen Staatsbahnen verlangen für die Probe die Verwendung eines zylindrischen glasierten Porzellantiegels von 4 cm Höhe und 4 cm Durchmesser zur Aufnahme des Öles, sowie einer halbkugelförmigen Blechschale von 18 cm Durchmesser, 1,5 cm Höhe, die mit feinem Sande anzufüllen ist und in die der Porzellantiegel zwecks Erwärmung mittels Gasbrenners eingesetzt wird. Der Porzellantiegel wird bis auf 1 cm vom Rande mit Öl gefüllt und auf den Sand gesetzt, nicht in diesen eingehüllt (s. Fig. 27). Das Thermometer ist so mittels eines Statives einzuspannen, daß die Quecksilberbirne vollständig vom Öl umspült wird. Über die Versuchsausführung schreiben die Vorschriften folgendes vor:

„*Die Erhitzung* ist von 100° C ab langsam zu be-

wirken, so daß keine teilweise Überhitzung eintreten kann. Während der letzten 15° vor Erreichung des Entflammungspunktes ist die Erhitzung so zu regeln, daß die Temperatursteigerung in einer Minute tunlichst 3—4° nicht überschreitet. Hat das Öl den Wärmegrad, bei welchem dasselbe geprüft werden soll, erreicht, so führt man die auf 10 mm Länge eingestellte Flamme des Rohres *g*, indem man dieses auf dem Rande der Blechschale gleiten läßt, langsam und gleichmäßig in wagerechter Richtung über den Tiegel *a* in der Ebene seines Randes einmal hin und her, so daß die Flamme sich jedesmal 4 Sekunden über dem Tiegel befindet und von den etwa sich entwickelnden Dämpfen bestrichen wird, ohne daß die Flamme das zu prüfende Öl oder den Rand des Tiegels berührt. Bei Ermittlung des Entflammungspunktes von 160° wird mit dieser Prüfung angefangen, sobald sich das Öl auf 120° erwärmt hat, und bis zur Erwärmung auf 145° von 5° zu 5°, von 145° aufwärts von Grad zu Grad wiederholt. Bei Ermittlung des Entflammungspunktes von 145° C ist die Prüfung zu beginnen, sobald sich das Öl auf 100° erwärmt hat, und bis zur Erwärmung auf 130° von 5° zu 5° und von 130° aufwärts von Grad zu Grad zu wiederholen. Die Erwärmung soll so lange fortgesetzt werden, bis bei Annäherung des Flämmchens ein vorübergehendes Aufflammen über der Öloberfläche oder eine durch schwachen Schall wahrnehmbare Verpuffung eintritt."

Die mit dem offenen Tiegel erhaltenen Flammpunktswerte pflegen in der Regel nicht unerheblich von den mit dem Pensky-Martens-Apparat bestimmten abzuweichen. Abweichungen von 15—40°, bei Ölen mit leichtflüchtigen Bestandteilen sogar bis zu 120° sind nicht selten, und zwar *beobachtet* man bei den Bestimmungen im offenen Tieg

regelmäßig die höheren Werte, weil die leicht entflammbaren Dampfgemische bei dieser Versuchsart leichter durch den Luftzug weggeführt werden können, wohingegen in dem nur zeitweilig geöffneten Ölgefäße des Penskyschen Apparates entflammbare Gemische schon bei tieferliegenden Temperaturen eingeschlossen bleiben und sich über der Öloberfläche halten können. Angaben über den Flammpunkt von Ölen haben daher als Gütemaßstab nur dann Wert, wenn das Versuchsverfahren, nach dem sie ermittelt wurden, mit genannt ist.

c) Auch die Bestimmung des sogenannten Zünd- oder Brennpunktes, d. h. derjenigen Ölwärme, bei der auf vorübergehende Annäherung einer Flamme an die Oberfläche des Öles Entzündung und ruhiges Fortbrennen desselben stattfindet, sowie die Ausführung der Destillationsprobe und Siedepunktsbestimmung mit Hilfe des Englerschen Kolbens (genaue Beschreibung s. Holde, Untersuchung der Schmiermittel) finden für Ölprüfungen Anwendung. Die letztere Probe wird besonders für den Nachweis von Petroleumdestillaten in Mineralölen (in Zolltarifierungsfragen) benutzt.

d) Größere praktische Bedeutung hat die Beobachtung des Verhaltens der Schmiermittel bei Temperaturen unter 0° C (Kältepunkts- oder Stockpunktsbestimmungen), das für viele Verwendungszwecke, z. B. für Schmierung der Eisenbahnwagenachsen im Winter, Eismaschinenteile usw., in Frage kommt. In der Hauptsache wird es sich hierbei um die Feststellung handeln, ob das Öl bei bestimmten Kältegraden noch genügend flüssige Konsistenz zeigt, um leicht aus den Schmierkannen zu fließen und aus den Schmiergefäßen zu den Zapfen und Lagerschalen gelangen zu können.

Nach dem einfachen Reagenzglasverfahren von

Hoffmeister werden die zu prüfenden Öle in Reagenzgläsern in Salzlösungen gestellt, die von Kältemischungen aus Eis und Kochsalz umgeben werden. Die Zusammensetzung der Salzlösungen wird so gewählt, daß bestimmte Kältegrade konstant gehalten werden können. *Holde* (Schmiermitteluntersuchung) empfiehlt folgende Salzlösungen:

in 100 Teilen Wasser	0°	— 3°	— 4°
	0 g Salz, also gewöhnliches Eis	13 Teile Kalisalpeter	13 Teile Kalisalpeter, 2 Teile Kochsalz
	— 5°	— 8,7°	— 10°
	13 Teile Kalisalpeter, 3,3 Teile Kochsalz	35,8 Teile Chlorbaryum	22,5 Teile Chlorkalium
	— 14°	— 15 bis — 15,4°	
	20 Teile Salmiak	25 Teile Salmiak	

Nach ein- bis zweistündigem Belassen der Öle in der Kältelösung hebt man die Reagenzgläser heraus und überzeugt sich durch Neigen derselben, ob das Öl noch fließt oder schon Ausscheidungen zeigt. In letzterem Falle führt man nach dem Wiedereinstellen der Gläser in die Kältelösung einen Glasstab in das Öl ein und stellt nach etwa $^1/_4$ Stunde fest, ob der Glasstab noch herauszuziehen ist, ohne das Glas mit anzuheben, oder nicht. Das Öl ist hiernach entweder als *dünnsalbig* oder *dicksalbig* zu bezeichnen.

Handelt es sich um zahlenmäßige Angabe des Fließvermögens bei bestimmten Kältegraden, so ermittelt man den Aufstieg des abgekühlten Öles in 6 mm weiten U-Röhren, die mit Strichmarken zur Begrenzung der Auffüllhöhe und mit Millimeterteilung an einem Schenkel versehen sind und in denen das Öl durch eine Druckerzeugungsvorrichtun

unter Druck von bestimmter Höhe gesetzt werden kann. Maßgeblich für das Fließvermögen ist die Höhe in Millimeter, bis zu der das abgekühlte Öl unter bestimmtem Druck (50 mm Wassersäule) in dem einen U-Rohrschenkel hochsteigt.

e) Geringere praktische Bedeutung hat die Bestimmung des spezifischen Gewichtes und der Ausdehnungskoeffizienten der Schmieröle; die erstere Bestimmung wird in der Regel ausgeführt, wenn es sich darum handelt, Anhaltspunkte für die Herkunft eines Öles zu erlangen. Die Öle verschiedener Herkunft kennzeichnen sich durch ihr spezifisches Gewicht, wie die nachstehende Tabelle (aus Holde, Schmiermitteluntersuchung entnommen) ergibt:

Klasse	Art der Öle	Spez. Gewicht
Russische Mineralöle	Petroleum	0,800—0,803
	Spindelöle, Paraffinöle	0,850—0,900
	Leichte bis schwere Mineralöle	0,900—0,915
	Zylinderöle	0,906—0,929
Amerikanische Mineralöle	Petroleum	0,780—0,800
	Spindelöle	0,840—0,907
	Maschinenöle	0,875—0,914
	Zylinderöle	0,883—0,895
Harzöle und Teerdestillate	Schweres Harzöl	0,970—0,980
	Steinkohlenteeröl	1,086—1,097
	Braunkohlenteeröl	0,889—0,974
Vegetabilische Öle	Nicht trocknende	0,910—0,917
	Halbtrocknende	0,918—0,932
	Trocknende	0,920—0,940
Tierische Fette	Klauenfette, Knochenöle	0,910—0,913
	Spermazetiöl	0,873—0,881
	Lebertrane	0,919—0,927
	Walfischtran	0,916—0,927
	Meerschweintran	0,923—0,934
	Robbentran	0,912—0,92[illegible]

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes geschieht, wenn es sich um weniger genaue Feststellungen handelt, mittels geeichter Aräometer; für genaue Bestimmungen verwendet man sogenannte Pyknometer (s. Fig. 28), kugelförmige Glasgefäße mit Thermometer und Steigrohr, in denen nacheinander gleichgroße Volumina Wasser und Öl gewogen werden. Man wendet ferner auch die sogenannte Alkoholschwimmethode an, mit der man feststellt, in welcher Verdünnung eines Alkoholes ein Tropfen Öl schweben bleibt, schwimmt. Das spezifische Gewicht dieses Alkohols entspricht dann demjenigen des betreffenden Öles.

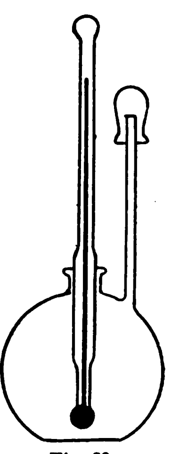


Fig. 28.
Pyknometer.

f) Die Ausdehnungskoeffizienten der Schmieröle bestimmt man, um die bei verschiedenen Temperaturen bestimmten spezifischen Gewichte auf die einheitlich festgesetzte Temperatur (z. B. 15 ^{0} C) umrechnen zu können, oder um für den Transport von Ölen einen Anhalt für die Expansionsräume zu haben. Die Feststellung geschieht entweder durch Bestimmung des spezifischen Gewichtes bei verschiedenen Wärmegraden oder mit Hilfe sogenannter Dilatometer, kugelförmiger Glasgefäße mit graduierter Glasröhre, die, mit Öl gefüllt und in Dampfbädern auf bestimmte Temperatur erwärmt, die Ausdehnung des Öles an der Teilung des graduierten Rohres abzulesen gestatten.

g) Hinsichtlich ihrer Reinheit, ihrer Farbe und Konsistenz werden die Öle häufig nach der äußeren Beschaffenheit beurteilt.

Die Farben schwanken zwischen wasserhell, gelb.

rötlichgelb, blutrot und graugrün bis grünschwarz oder braunschwarz. Mineralöle zeigen meist Fluoreszenz, und zwar die amerikanischen Öle grasgrüne, die russischen blaue. Im Gegensatz zu den Maschinenölen, die in der Regel, weil sie filtriert sind, durchsichtig erscheinen, sind die Eisenbahnwagenöle infolge erheblicher Mengen von Destillationsrückständen, die sie enthalten, meist undurchsichtig.

Mechanische Verunreinigungen, häufig von den Transportgefäßen herrührend, Holzteile usw. stellt man fest, indem man das Öl (etwa 250 ccm) durch Siebe, zweckmäßig mit $^1/_3$ mm Maschenweite, durchgießt.

Der Konsistenz nach unterscheidet Holde (Holde-Lunge S. 85):

dünnflüssig oder petroleumartig,
wenig zähflüssig oder spindelölartig,
mäßig zähflüssig, entsprechend leichten Maschinenölen,
zähflüssig, entsprechend schweren Maschinenölen,
sehr dickflüssig, entsprechend flüssigen Zylinderölen,
salbenartig (dünn- oder dicksalbenartig),
schmalzartig,
butterartig,
talgartig.

h) Verfälschungen von Mineralölen durch Beimengung von Harzölen weist man gelegentlich auch durch optische Prüfungen mit Hilfe des Laurentschen Halbschattenapparates, des Landoltschen Polarisationsapparates oder auch mit dem Abbéschen Refraktometer nach.

4. Chemische Prüfungen.

Die Brauchbarkeit eines Schmieröles, sei es nun *mineralischer, pflanzlicher* oder tierischer Herkunft, ist

indessen noch nicht nach dem Ausfall der vorbeschriebenen physikalischen Prüfungen allein zu beurteilen; je nach dem Verwendungszweck sind vielmehr einfachere oder umfangreichere chemische Prüfungen erforderlich, um Reinheit und Ausdauerfähigkeit des Schmiermittels zu erweisen. Die hierbei in Frage kommenden Verfahren können an dieser Stelle nicht in dem Umfange behandelt werden, wie es wohl erforderlich wäre, um nach diesen Angaben die Prüfungen ausführen zu können. Für solche Bedürfnisse muß vielmehr auf die mehrfach genannten Spezialwerke (Holde, Lunge, Lewkowitsch, Benedikt) verwiesen werden. Es werden auch nur solche Prüfungsverfahren hier Erwähnung finden, die für die Verwendung der Öle als Schmiermittel in Frage kommen. Die umfangreiche analytische Chemie der Fette, Öle und Wachse, auf der zahlreiche chemische Industriezweige gegründet sind, finden Interessenten eingehend in den genannten Spezialwerken behandelt.

a) Chemische Prüfung der Mineralöle.

Die Untersuchung auf freie Säure erstreckt sich meist auf qualitativen und quantitativen (maßanalytisch) Nachweis von Schwefelsäure, die als Schwefelsäureanhydrid berechnet angegeben wird. Bei hellen Mineralölen und Zylinderölen verlangt man vollständige Abwesenheit von freien Säuren, bei dunklen Ölen (Wagen- und Achsenölen) läßt man in der Regel bis zu 0,3% organische Säuren zu. Mineralsäuren sollen in allen Ölen vollständig fehlen. Gegenstand der Untersuchung ist ferner die Ermittlung des Gehaltes an freiem Harz, das sich seltener in fetten Ölen, häufiger in Mineralölen (helle Öle bis 0,6%, dunkle Öle bis 1%) finden kann.

Zum Nachweis des Angriffsvermögens auf Lager

metalle bestimmt man die Gewichtsabnahme von Metallplatten, die man längere Zeit der Einwirkung des erwärmten Öles ausgesetzt hat. Das Angriffsvermögen ist bei Mineralölen indessen außerordentlich gering, wenn sie nicht säurehaltige fette Öle enthalten.

Fetthaltige Dampfzylinderöle prüft man bezüglich ihres Angriffsvermögens auf Metalle auch unter der Einwirkung hochgespannten Dampfes in sogenannten Autoklaven (kleinen Dampfkesseln für den Laboratoriumsgebrauch). Enthalten diese Schmiermittel fette Öle, so werden letztere unter der Einwirkung der Dampfspannung in freie Fettsäure und Glyzerin zersetzt, wodurch das Angriffsvermögen auf in dem Öl liegende Metallplatten beträchtlich erhöht wird.

Ein Gehalt von Wasser gibt sich in hellen Ölen in der durchgeschüttelten Probe durch Trübung zu erkennen, die beim Erhitzen verschwindet und nach dem Erkalten nicht wiederkehrt. Stark wasserhaltige Öle schäumen beim Erhitzen auf 100° und darüber stark.

Den Mineralölen, besonders den schweren Zylinderölen, setzt man häufig, um ihre Schmierfähigkeit zu erhöhen, fette Öle hinzu. Der Nachweis dieser fetten Öle in Mineralölen geschieht durch Erhitzen der Öle mit Natrium oder Natriumhydrat. Fette Öle bilden durchweg mit diesen Alkalien Seifen, die sich an der charakteristischen Veränderung des Aussehens der Öle zu erkennen geben. Reine Mineralöle werden nicht verseift, verändern daher auch ihr Aussehen nach dem Erhitzen mit Natrium nicht; bei Gegenwart von fetten Ölen bildet sich hierbei jedoch Seifenschaum, und das Öl erstarrt nach dem Erkalten infolge der Seifenbildung zu einer gallertartigen Masse. Auch die quantitative Bestimmung des Gehaltes an fetten Ölen beruht auf der Verseifung mit Alkali.

Zusatz fetten Öles zum Mineralöl setzt die Qualität des Öles nicht herab, solange dadurch die Schmierfähigkeit des Öles erhöht und seine Ausdauerfähigkeit nicht herabgemindert wird. Letzteres wird indessen dann der Fall sein, wenn große Mengen minderwertiger fetter Öle als Zusatz zur Verwendung kamen und dadurch das Mineralöl starke Neigung zur Verharzung bekommt. Man ermittelt das Verharzungsvermögen, d. h. Eintrocknen infolge chemischer Veränderung, indem man einen Tropfen des Öles auf einer Glasplatte verreibt, im Trockenschranke bei 50—100° C mehrere Tage erwärmt und täglich die Konsistenz beobachtet. Raffinierte helle Öle zeigen fast durchweg kein Verharzungsvermögen, wohingegen dies bei dunklen Ölen in geringem Maße manchmal feststellbar ist. Mit einem Gehalt an Pech und Asphalt wird das Verharzungsvermögen stets erhöht. — Die Ermittlung des Aschegehaltes der Öle gibt einen Maßstab für die mehr oder weniger gute Raffination. Gut raffinierte Öle sollen anorganische, also unverbrennbare Bestandteile, die den Aschegehalt bedingen, gar nicht oder höchstens in Spuren enthalten.

Die chemische Prüfung kann sich schließlich noch erstrecken auf Ermittlung des Gehaltes an Zusatzstoffen, die die Qualität des Schmiermittels meistens vermindern, wie Seife, geringere unverseifbare Öle, Destillate von Steinkohlen-, Braunkohlen- und Buchenholzteerölen, ferner auf die Anwesenheit von Kautschuk, von sogenannten Entscheinungsmitteln, die zur Beseitigung der Fluoreszenz der Mineralöle, sowie Parfümierungsmitteln, die zur Verdeckung des Fettgeruches zugesetzt werden; man bestimmt auch den Gehalt an Leim, gelöstem Asphalt, Paraffin und *Ceresin.*

In den Ölen suspendierte Stoffe werden gleichfalls chemischer Untersuchung unterworfen, die den Nachweis von Asphalt- und Pechteilen (erhöhtes Verharzungsvermögen) oder an Vaselin, Paraffin und Seifeteilchen zum Zwecke hat.

b) Chemische Prüfung der fetten Öle.

Die Prüfung der fetten Öle, die, wie schon bemerkt, für die Schmierzwecke im Großmaschinenbetrieb beschränktere Verwendung als die Mineralöle finden, ist aus diesem Grunde in der Hauptsache eine chemische; zum Zwecke der Feststellung ihres Charakters und ihrer Reinheit indessen werden auch die physikalischen Eigenschaften, Konsistenz, Gefriervermögen, häufig festgestellt. Bei der Beurteilung nach der äußeren Beschaffenheit ist der charakteristische Geruch der verschiedenen fetten Ölsorten ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal für den geübten Beobachter. Chemisch prüft man auf Säuregehalt, auf Art der mechanischen Verunreinigungen, Wasser, Schleim und auf Gegenwart unverseifbarer Öle (Mineralöle), in letzterem Falle durch Verseifung mit Natriumhydrat und Abscheidung der unverseifbaren Stoffe.

Zur Charakterisierung der fetten Öle unter sich finden maßanalytische Verfahren hauptsächlich Anwendung.

Mit Hilfe der sogenannten Verseifungzahl nach Köttstorfer und der sogenannten Hüblschen Jodzahl lassen sich die zahlreichen Arten der fetten Ö und Fette in bestimmte Gruppen und Klassen einteil innerhalb deren durch charakteristische chemische Re tionen die Erkennung der einzelnen Ölarten ermögli wird. Die Verseifungszahl gibt die Anzahl von M *gramm Kalihydrat an,* die für die Verseifung von 1

oder Wachs erforderlich sind, die Jodzahl hingegen diejenige Anzahl Gramm Jod, welche 100 g Öl bzw. Fett absorbieren. Die höchsten Jodzahlen haben die sogenannten trocknenden Öle (Leinöl, Mohnöl, Hanföl, zwischen 130 und 200), niedrigere die halbtrocknenden Öle (Rüböl, Baumwollsamenöl, zwischen 92 und 120), die niedrigsten die nichttrocknenden Öle (Olivenöl, Rizinusöl, Knochenöl uws., zwischen 60 und 100). Die Jodzahlen der Öle mineralischer Herkunft sind meist niedriger als die der Öle vegetabilischer Herkunft.

In manchen Fällen werden auch die sogenannte Reichert-Meißlsche Zahl (Anzahl der Kubikzentimeter $^1/_{10}$ Normallauge zur Neutralisierung der in 5 g Fett enthaltenen flüchtigen Säuren), die Hehnersche Zahl (Ausbeute in 100 Teilen Fett an wasserunlöslichen Fettsäuren), die Azetylzahl (Maß für den Gehalt an Oxyfettsäuren oder Fettalkoholen) Interesse haben.

Hinsichtlich der Ausführung der in Frage kommenden maßanalytischen Verfahren sowie der den einzelnen Ölarten eigentümlichen Werte für Jod- und Verseifungszahlen usw. wird auf die obengenannte Fachliteratur verwiesen.

5. Prüfung besonderer Schmiermittel.

a) Konsistente Schmiermittel.

Konsistente Schmiermittel sind in der Hauptsache Gemenge von Mineralölen, Kalkseifen und Wasser (letzteres höchstens 6 %). Sie finden, da sie ein äußerst sparsames und zweckmäßiges Schmiermittel sind, besonders für die Schmierung von Transmissionen, Leerscheiben, Kurbelzapfen usw. Verwendung.

Ihre Prüfung erstreckt sich auf Beurteilung nach der äußeren Beschaffenheit — gleichmäßige schmalz-

bis butterartige Konsistenz, homogene Masse, einheitliche Farbe sind Anzeichen für gute Ware —, ferner auf die Ermittlung des Tropfpunktes und auf die chemische Analyse.

Die Ermittlung des Tropfpunktes, d.h. nach der Erläuterung von Ubbelohde (vgl. Zeitschr. für angewandte Chemie 1905, S. 1220) desjenigen Wärmegrades, bei dem ein Tropfen des erweichten Fettes unter seinem Eigengewicht von der gleichmäßig erwärmten Fettmasse abfällt, geschieht entweder nach dem Verfahren von Pohl oder besser nach Ubbelohde.

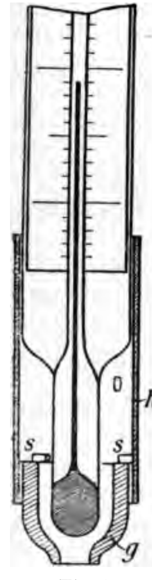


Fig. 29. *Tropfpunktbestimmung nach Ubbelohde.*

Beim Pohlschen Verfahren wird die Kugel eines Quecksilberthermometers mit dem Fett bestrichen und hiernach, in einem Reagenzglase eingeschlossen, im Wasserbade erwärmt, bis durch Abfließen des Fettes von der Quecksilberkugel diese sichtbar wird.

Dem Pohlschen Verfahren haftet der Fehler an, daß der Tropfpunkt durch die Menge der auf der Quecksilberkugel aufgetragenen Fettmasse beeinflußt wird (bei kleiner Menge zu hoher Tropfpunkt, weil Fett erst sehr dünnflüssig werden muß, ehe sich abfallender Tropfen bildet; bei großen Mengen zu niedriger Tropfpunkt, weil infolge des großen Gewichtes der aufgetragenen Fettmasse Abfallen des Tropfens schon bei breiiger Konsistenz des Fettes stattfindet). Diesem Umstande trägt Ubbelohde besonders Rechnung. Er schiebt über das

Quecksilberthermometer (s. Fig. 29) eine Metallhülse *h*, deren federndes Ende ein Glasgefäß *g* trägt, in dem das zu prüfende Fett eingefüllt wird. Das in die Metallhülse bis zu den Stäbchen *s* eingeführte Glasgefäß wird mit dem Thermometer zusammen im Reagenzglas erwärmt und die Temperatur, bei der der Tropfen abfällt, bestimmt. Dieser abgelesene scheinbare Tropfpunkt muß, weil er durch das Wärmegefälle zwischen dem äußeren Rand der Fettmasse und der Quecksilberkugel beeinflußt wird, druch eine Korrektion richtiggestellt werden, deren Größe abhängig von der Geschwindigkeit ist, mit der die Temperatursteigerung vollzogen wurde. Bei 2° Temperaturanstieg pro Minute liegt nach Ubbelohde der wirkliche Tropfpunkt 1° höher als der beobachtete scheinbare.

Die chemische Prüfung der konsistenten Fette erstreckt sich in der Regel auf den Gehalt an Seife, an freier Fettsäure, an Mineralöl oder überhaupt an unverseifbarem Fett, an Wasser, Kalk oder anderen anorganischen Stoffen, die als Beschwerungsmittel hier und da zugesetzt werden.

b) Wasserlösliche Öle.

Zum Schmieren beim Bohren, Fräsen oder bei anderen Arbeiten an Werkzeugmaschinen, neuerdings auch viel als Straßenbesprengungsmittel zum Schutz gegen Staubentwicklung (Westrumit) benutzt man sogenannte emulgierbare, wasserlösliche Mineralöle, deren Prüfung sich in der Regel auf die chemische Analyse beschränkt.

V. Einiges über Metallographie.

a) Begriffsfeststellung und Aufgaben.

Der Name Metallographie (Metallbeschreibung) wurde von dem französischen Forscher Osmond als Analogon zur Petrographie (Gesteinslehre, Gesteinsbeschreibung) dem jüngsten Forschungsgebiete des Materialprüfungswesens gegeben und wird noch heute allgemein angewandt, obgleich er bei dem jetzigen Stande dieser Wissenschaft das Arbeitsgebiet nicht mehr erschöpfend charakterisiert.

Die Metallographie beschränkt sich keineswegs, wie ihr Name besagt, auf eine bloße Beschreibung der Metalle etwa hinsichtlich der ihnen eigentümlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften. Sie sucht vielmehr das innere Wesen der Metalle, deren Gefügeaufbau zu studieren, ergründet die Entwicklung dieses inneren Aufbaues und ermittelt, welchen Einfluß mechanische und thermische Behandlungen auf den Gefügeaufbau haben.

Heyn bezeichnet in „Stahl und Eisen", Jahrgang 1899, S. 709 (Einiges über das Kleingefüge des Eisens) die Aufgaben der Metallographie wie folgt:

„1. Beschreibende Feststellung der einzelnen Gemengteile (Gefügebildner) der Legierungen; Ermittlung der chemischen und physikalischen Eigenschaften derselben, sowie ihrer Anordnungsweise. Ergründung des Zusammenhanges dieser letzteren Faktoren mit den Eigenschaften des Gesamtmetalls.

2. Ermittlung der Veränderungen in der Art und Anordnung der Gefügebildner, welche durch verschiedene Behandlung der Legierungen (Erwärmen, Abschrecken, Formänderung usw.) hervorgerufen werden."

Es ist ein weites Forschungsgebiet, das sich uns angesichts der obigen Darstellung der Aufgaben und Ziele der Metallographie eröffnet, dessen Pfade natürlich auch bei weitem noch nicht alle erforscht sind, wenngleich der Fortschritt dieser jungen Wissenschaft besonders im letzten Jahrzehnt enorm genannt werden kann. Die hier folgenden Zeilen können daher auch nur den Zweck verfolgen, mit wenigen Worten zu erläutern, wie man bei metallographischen Arbeiten vorgeht und welche praktische Bedeutung besonders hinsichtlich des Materialprüfungswesens solche Untersuchungen haben.

b) Geschichtliches.

Schon frühzeitig, im Jahre 1863*), sind von dem Engländer Sorby dahingehende Studien betrieben und veröffentlicht worden; seine Arbeiten, rein wissenschaftlicher Natur, ließen indessen die praktische Bedeutung metallographischer Untersuchungen nicht erkennen und fanden deswegen nur beschränkten Interessentenkreis und geteiltes Verständnis. Erst die Arbeiten von A. Martens, die von ihm, ohne Kenntnis der Sorbyschen, im Jahre 1878 veröffentlicht wurden und die Mikrostruktur von Eisen und Stahl behandelten, von vornherein aber praktischen Zuschnitt hatten, gaben weiteren Kreisen Anregung zur eingehenden Forschung auf dem neuen Gebiete. Merkwürdigerweise fand jedoch diese von einem Deutschen gegebene Anregung in Deutschland selbst zunächst nur wenig Förderung, um so weniger als Martens selbst durch andere Arbeiten auf dem Gebiete des Materialprüfungswesens nicht Zeit genug für weitere metallographische Arbeiten fand. Eine lange Reihe von Jahren hindurch wurden die

*) Nähere geschichtliche Angaben siehe O. Bauer, „Die *Metallographie*", Baumaterialienkunde 1904, Heft 1. u. 2.

grundlegenden Erfolge der Forschung von ausländischen Gelehrten wie Osmond-Paris, Tschernoff-Petersburg, Roberts-Austen, Howe, Sauveurs, Stead, Charpy, Le Chatelier, Heycock, Neville, Cartaud u. a. errungen. Erst seit wenigen Jahren ist in Heyn, dem Vertreter dieser Wissenschaft am Königl. Materialprüfungsamt, auch für Deutschland ein eifriger Förderer metallographischer Forschung entstanden; seine Veröffentlichungen sind von dem Bestreben getragen, das Wissensgebiet der Metallographie besonders der Praxis des Eisenhütten- und Metallhüttenwesens näher zu bringen und für die Materialbeurteilung nutzbar zu machen. In letzterer Hinsicht ist das Verständnis der in Frage kommenden Interessentenkreise neuerdings erheblich erweitert worden, wofür die gesteigerte Inanspruchnahme der metallographischen Abteilung im Königl. Materialprüfungsamte bestes Zeugnis ablegt.

c) Metallmikroskopie.

Die Prüfung der Metalle und Legierungen auf metallographischem Wege ist in erster Linie eine mikroskopische, wobei der Gefügeaufbau des Materials, Menge und Verteilung der einzelnen Gefügebildner Gegenstand der mikroskopischen Beobachtung sind. Kann man auch an der Bruchfläche metallischer Bruchstücke in der Regel mit bloßem Auge mancherlei Aufklärungen über das Gefüge erlangen und Schlüsse auf Beschaffenheit der Materialien ziehen, so sind doch leicht Irrtümer deswegen möglich, weil der Bruch meist Änderung des Gefüges bedingt, die den ursprünglichen Gefügezustand verschleiert oder ganz überdeckt. Die Beobachtung am Schliff hingegen ist, sachverständige Anfertigung vorausgesetzt, von störenden Einflüssen unabhängig, außerdem

vermag das Mikroskop tieferen Einblick zu gewähren, als unser unbewaffnetes Auge, das bei weitem nicht ausreicht, um die einzelnen Gefügeelemente ihrer Form, Größe und Beschaffenheit nach unterscheiden zu können. Dazu bedarf es des Mikroskopes.

Die Metallmikroskopie ist in vieler Beziehung eine wertvolle Ergänzung der chemischen Analyse geworden, sie gibt nicht nur Art und Menge der Gefügebestandteile im mikroskopischen Bilde zu erkennen, sondern bringt auch die Verteilung der einzelnen Gemengteile in einem Materialquerschnitte, etwaige Anreicherungen des einen oder anderen Bestandteiles an bestimmten Stellen im Material zur Anschauung und gestattet auf diese Feststellung gegründete Schlüsse in bezug auf mechanisches Verhalten des Materiales, die mit Hilfe der chemischen Analyse, die mit dem fein zerkleinerten Material arbeiten muß und daher meist nur die mittlere Stoffzusammensetzung angibt, nicht möglich wären.

Neben der mikroskopischen Beobachtung ist die Erforschung der Vorgänge beim Erstarren der Legierungen ein fruchtbares Arbeitsgebiet des Metallographen, insofern als die Ergebnisse für viele hüttenmännische Prozesse die theoretische Erklärung zu geben vermögen.

Die Metallmikroskopie muß im Gegensatz zur petrographischen Mikroskopie, bei der man in der Regel Gefügestudien an sogenannten Dünnschliffen (aus dem Gestein herausgearbeitete dünne, durchsichtige Plättchen) im durchfallenden Lichte macht, mit auffallendem Lichte arbeiten, weil aus Metallen herausgearbeitete Dünnschliffe nicht durchsichtig sind.

Die Anordnung des Objektes und die Anordnung seiner Beleuchtung unter dem Mikroskop kann verschieden

sein. Heyn gibt die in Fig. 30 a—c wiedergegebenen Beleuchtungsarten an: *M* bedeutet darin die zu beobachtende Metalloberfläche, *f* die Frontlinse des Mikroskop-Objektivs, *e* den von einer künstlichen Lichtquelle her einfallenden Lichtstrahl, *a* den ausfallenden Strahl, *pl* ein dünnes Planparallelglas, *pr* ein Prisma.

Die mikroskopische Beobachtung des Gefügebildes erfordert besondere Zurichtung der zu beobachtenden

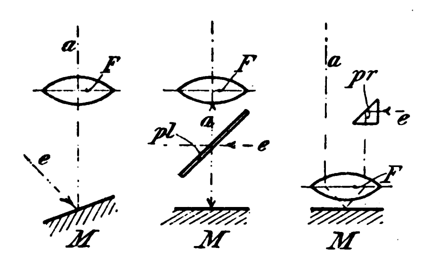


Fig. 30 a—c. Beleuchtungsarten für Metallmikroskopie (nach Heyn).

Metalloberfläche. Die Fläche muß vollkommen eben und glatt poliert sein; man erreicht dies durch Abschleifen einer Fläche des mit einer Säge herausgeschnittenen Metallstückes an rotierenden Holzscheiben, die mit Schmirgelpapier, oder wenn es sich um Polieren handelt, mit Tuch bespannt sind, unter Zuhilfenahme von Polierrot und Wasser.

Sind die polierten Flächen nach dieser Behandlung noch nicht zur Gefügebeobachtung geeignet, so werden weitere Bearbeitungen entweder durch sogenanntes Reliefpolieren, durch Ätzpolieren oder durch Ätzen der polierten Flächen vorgenommen. Heyn gibt in der mehr

fach erwähnten Arbeit über das Kleingefüge des Eisens nachstehende Verfahren hierzu an:

Für das Reliefpolieren wird der Schliff unter sanftem Druck auf einer Unterlage von mit wenig Polierrot befeuchtetem weichen Gummi (oder Pergament) weiter poliert. Durch diese Methode ermöglicht man ein Trennen der Gefügebestandteile in härtere und weichere, weil die härteren Gefügebestandteile der Wirkung der abschleifenden elastischen Fläche mehr widerstehen als die weicheren und daher erhaben (Relief) hervortreten.

Das Ätzpolieren nach Osmond, bei dem wie beim Reliefpolieren verfahren wird, aber unter Zusatz von Süßholzextrakt, wodurch, ähnlich wie bei der Papiermikroskopie beschrieben, gewisse Gefügeteile gefärbt werden, findet nur selten Anwendung.

Welche ätzenden Mittel angewendet werden müssen, richtet sich nach dem zu untersuchenden Metall, ein allgemein brauchbares Rezept kann nicht gegeben werden. Beim Ätzen von Eisenschliffen werden die gut entfetteten, polierten Schliffe entweder in Lösungen von Jod in Jodkali und Wasser, oder in stark verdünnte Salzsäure, auch in Salzsäure, die mit Alkohol stark verdünnt ist, oder in eine Lösung von Kupfer-Ammoniumchlorid kurze Zeit eingetaucht.

Eine so behandelte Metalloberfläche läßt im mikroskopischen Bilde deutlich die einzelnen Gefügeelemente erkennen; die Gefügebilder werden meist nach dem mikroskopischen Bild aufgezeichnet oder mit Hilfe von mikrophotographischen Apparaten (im Materialprüfungsamt nach Angaben von A. Martens von der Firma Zeiß erbaut) im Lichtbilde festgehalten.

d) Metallographie des Flußeisens.

Im folgenden sei noch das Hauptsächlichste über die Metallographie des für den Konstrukteur wichtigsten Materials, des Flußeisens, mitgeteilt.

Was wir im technischen Sprachgebrauch mit Flußeisen, kurzweg mit Eisen, bezeichnen, ist bekanntlich nicht reines Eisen, sondern eine Legierung des Eisens mit Kohlenstoff. Durch den Kohlenstoffgehalt werden die Eigenschaften des Eisens bestimmt. Die übrigen im Eisen nachweisbaren Bestandteile, wie Mangan, Silizium, Phosphor, Schwefel, sind teils Verunreinigungen (z. B. Pn, S) oder wurden zu besonderen Zwecken, z. B. zur Desoxydation (Mn), zugesetzt.

Den Metallographen interessieren nun besonders die verschiedenen Legierungsformen des Eisens mit Kohlenstoff, weil er aus ihrer Feststellung im mikroskopischen Bilde wichtige Schlüsse hinsichtlich des Zustandes des vorliegenden Materiales, der Wärme- oder mechanischen Behandlung, die es erfahren hat, ziehen kann.

Den verschiedenen Gefügeelementen des Eisens hat Howe die Namen Ferrit, Cementit, Perlit, Martensit (nach A. Martens benannt) und Troostit beigelegt; sie sind ihrer Erscheinung im mikroskopischen Bilde nach genau von Osmond charakterisiert. Seine Namenregelung hat allgemeine Verbreitung gefunden.

Er bezeichnet mit Ferrit das reine Eisen, das beim Reliefpolieren den anderen Gefügebestandteilen gegenüber immer vertieft erscheint, weil es am weichsten ist; mit Cementit die chemische Verbindung von Eisen mit Kohlenstoff, die der Formel Fe_3 C entspricht (drei Moleküle Eisen und ein Molekül Kohlenstoff), die als die *härteste Verbindung* beim Reliefpolieren am wenigsten *abgeschliffen wird* und daher stets erhaben im Gefüge-

bilde erscheint. Perlit ferner, in bezug auf die Härte zwischen Cementit und Ferrit liegend, ist ein Gemenge von Ferrit und Cementit und bildet sich im langsam erstarrenden Eisen bei etwa 700 °C als sogenanntes eutektisches Gemenge, das konstanten Kohlenstoffgehalt von 0,85—0,95 Prozent hat.

e) Erstarrungsvorgänge bei Legierungen.

Um den Begriff eutektisches Gemenge verständlich zu machen, ist es erforderlich, kurz auf die neueren Anschauungsweisen der physikalischen Chemie hinsichtlich der Legierungen einzugehen.

Legierungen sind danach erstarrte Lösungen von mehreren metallischen Gemengteilen ineinander oder von metallischen in metalloidischen Gemengteilen, deren physikalisches Verhalten in bezug auf den Erstarrungsvorgang ganz analog demjenigen gewöhnlicher Salzlösungen, z. B. einer Kochsalzlösung, ist. Aus der Lösung scheiden sich bei Beginn der Erstarrung zunächst Kristalle des einen oder anderen Gemengteiles aus; erst nach Beendigung dieser Kristallausscheidung erstarrt schließlisch die sogenannte Mutterlauge als eutektisches, d. h. gutflüssiges Gemenge, wobei sie in ihre Gemengteile zerfällt. Jede eutektische Mischung hat unveränderliche Zusammensetzung (daher der konstante Kohlenstoffgehalt des Perlit) und zudem für jede Legierung eine unveränderliche Erstarrungstemperatur.

An einem Beispiel, das der Arbeit von Heyn über das Kleingefüge des Eisens (Stahl und Eisen 1899, S. 713) entnommen ist und die Erstarrungskurve der Silber-Kupferlegierungen nach Heycock und Neville darstellt, wird das Wesen der eutektischen Mischung noch verständlicher *werden.*

Beobachtet man an solchen Kupfer-Silberlegierungen, deren Kupfergehalt man in einem Falle gleich 10%, in einem zweiten gleich 20% und so fort bis 100% macht, den Erstarrungsvorgang, so wird man in jedem Falle in dem anfänglich gleichmäßigen Verlauf der Temperaturabnahme bei einer bestimmten Temperaturstufe plötzlich eine Verzögerung der Temperaturabnahmen wahrnehmen können, die in der Regel von der beginnenden Abscheidung von Kristallen des einen oder anderen Gemengteiles der Legierung begleitet ist und mit Haltepunkt bezeichnet wird. Die Temperatur, bei der diese Haltepunkte zu beobachten sind, ist für die einzelnen Silber-Kupferlegierungen verschieden; trägt man die beobachteten Haltepunktstemperaturen für die verschiedenen Legierungsstufen (10% Kupfer mit 90% Silber, 20% Kupfer mit 80% Silber, 30% Kupfer mit 70% Silber usw.) in einem Schaubilde graphisch auf, so ergibt sich die in Fig. 31 wiedergegebene Kurve. Als Abszissen dieses Schaubildes sind die Prozentgehalte Kupfer in den Legierungen, als Ordinaten die Haltepunktstemperaturen der verschiedenen Legierungen aufgetragen. Man erkennt, daß die Haltepunktstemperaturen mit wachsendem Kupfergehalt zunächst gesetzmäßig abnehmen, bis bei dem Punkte *B*, der der Haltepunktstemperatur einer Legierung von 28% Kupfer mit 72% Silber entspricht, die tiefste Erstarrungstemperatur erreicht ist. Die Legierungsstufe, bei der diese tiefste Erstarrungstemperatur beobachtet wird, nennt man das eutektische Gemisch; das eutektische Gemisch wird also unter den verschiedenen Legierungsstufen einer Legierung den tiefsten Erstarrungs- und daher auch den tiefsten Schmelzpunkt haben, weswegen *dieses Gemisch* auch eutektisches, d. h. gutflüssiges *genannt wurde.* Legiert man die Kupfer-Silberlegierung mit

mehr als 28 % Kupfer, so beobachtet man mit steigendem Kupfergehalt gesetzmäßige Erhebung der Haltepunktstemperatur. In der flüssigen Legierung, die weniger als 28 % Kupfer enthält, scheiden sich bei der Haltepunktstemperatur Silberkristalle aus, die um so mehr von einer innigen Menge von äußerst kleinen Kupfer- und Silberkriställchen (der eutektischen Mischung) umgeben sind, je mehr der

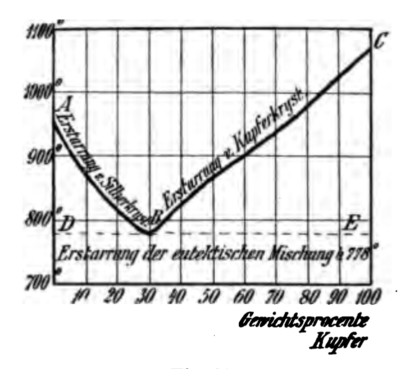


Fig. 31.
Kurve der Silber-Kupferlegierungen (nach Heyn).

Kupfergehalt der Legierung an 28 % herankommt. Das Eutektikum erstarrt, ohne daß größere Kristallausscheidungen des Silbers oder Kupfers erkennbar wären. In den Legierungen mit mehr als 28 % Kupfer macht das eutektische Gemenge mehr und mehr der Ausscheidung von Kupferkristallen Platz, bis schließlich bei den höchsten Kupfergehalten nur mehr Kupferkristalle ausgeschieden werden.

Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse bei den Eisenkohlenstofflegierungen unserer technischen Eisensorten.

Auch bei ihnen beobachtet man während eines ungestörten Abkühlungsvorganges Haltepunkte oder **kritische Punkte**, bei denen Wärmeentbindungen stattfinden und daher das Fallen der Temperatur plötzlich aussetzt, um erst nach einiger Zeit wieder regelmäßig fortzuschreiten. Für die Eisensorten mit normalem Kohlenstoffgehalt treten solche Haltepunkte zwischen 700° und 900° auf; sie sind zweifellos wie bei den beschriebenen Silber-Kupferlegierungen auf Umwandlungsvorgänge im Gefüge des Eisens zurückzuführen, nur daß man bei diesen Temperaturen, bei denen das Eisen ja bereits im erstarrten Zustande sich befindet, nicht mehr von Erstarrung der Gefügeelemente reden kann. Die Temperatur dieser Haltepunkte ist wie bei obigem Beispiel auch vom Gehalt an Kohlenstoff abhängig; das eutektische Gemenge ist eben die Legierung mit 0,85—0,95% Kohlenstoff, der Perlit, dessen Haltepunktstemperatur nach den Forschungen von **Roberts-Austen** etwa bei 700° liegt. Bei geringerem oder größerem Kohlenstoffgehalt als 0,8% liegen die Haltepunktstemperaturen höher; im ersteren Falle wächst mit abnehmendem Kohlenstoffgehalt die Ferritausscheidung im Gefügebilde, im letzteren Falle mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt die Cementitausscheidung.

Wesentlich anders gestaltet sich das Gefügebild, wenn die Abkühlung der erstarrenden Eisenkohlenstofflegierung nicht ungestört vor sich geht, sondern durch bestimmte Maßnahmen, z. B. Abschrecken in Wasser im rotwarmen Zustande, oberhalb der Haltepunktstemperatur beeinträchtigt wird. In diesem Falle verbleibt das Eisen in einem Gefügezustande, der Temperaturen über 700° eigentümlich ist; das dann im Gefügebilde erkennbare *Gefügeelement*, das sich meist durch einander kreuzende *Nadelkristalle* charakterisiert (im Gegensatz zu Perlit,

der nur in parallelen Lamellen zu beobachten ist), wird Martensit genannt. Ein Übergangsgebilde zwischen Martensit und Perlit bezeichnet man mit Troostit.

f) Praktische Anwendungen der Metallographie.

Die sichere Unterscheidung der einzelnen Gefügeelemente voneinander ist natürlich Sache des geübten Mikroskopikers. Für diesen gibt jedoch das mikroskopische Gefügebild sichere Anhaltspunkte für die Wärmebehandlung, die das Eisen erfahren hat. Der praktische Wert für die Materialprüfung liegt nun darin, daß man mit metallographischen Verfahren leicht und mit Sicherheit fehlerhafte Materialienbehandlung, z. B. Überhitzung (s. S. 22) bei der Bearbeitung, feststellen kann.

Häufig treten im Betriebe unerwartet bei relativ geringen Materialbelastungen Brüche auf, für die zunächst in der Regel jede Erklärung fehlt, um so mehr als oft sowohl die vor Verarbeitung als auch nach dem Bruche vorgenommenen statischen Zerreißversuche ganz normale Festigkeitswerte in bezug auf Bruchfestigkeit und Dehnung ergeben haben. Der Grund solcher Brucherscheinungen liegt sehr häufig in fehlerhafter Wärmebehandlung des Materials bei der Bearbeitung (Überhitzung, Blauwärme usw. s. Absch. I), die in der Regel nur auf einige Stellen der Konstruktionsteile, an denen eben warm bearbeitet wurde, beschränkt ist. Der statische Zerreißversuch bringt meistens in solchen Fällen diese Krankheitserscheinung des Eisens nicht zum Ausdruck; sicherer wird ihre Erkennung durch Ausführung der Einkerbschlagbiegeprobe (s. I. S. 97) in Verbindung mit der metallographischen Untersuchung des Gefügebildes erreicht.

Mit Hilfe der Metallographie läßt sich auch die sonst *oft nicht leicht* zu entscheidende Frage, ob Schweiß-

oder Flußeißen vorliegt, entscheiden; die Erkennung von Schweißstellen im Material läßt sich sicher ermöglichen.

Die Metallographie bildet somit zweifellos eines der wichtigsten Hilfsmittel zur Klarstellung einer großen Anzahl bedeutungsvoller Fragen der Metallurgie und des Materialprüfungswesens, wenn auch die weite Ausdehnung dieses neuen Wissensgebietes noch viel Eifer, Geduld und Zeit zu seiner gründlichen Erforschung erfordern wird.

Alphabetisches Register.

Zahlen bedeuten die Seitenzahlen.

Geschichte, Badische, von Dr. Karl Brunner, Prof. am Gymnasium in Pforzheim und Privatdozent der Geschichte an der Techn. Hochschule in Karlsruhe. Nr. 230.

— **Bayerische,** von Dr. Hans Ockel in Augsburg. Nr. 160.

— **des Byzantinischen Reiches** von Dr. K. Roth in Kempten. Nr. 190.

— **Deutsche, I: Mittelalter** (bis 1500) von Dr. F. Kurze, Oberl. am Kgl. Luisengymn. in Berlin. Nr. 33.

— — **II: Zeitalter der Reformation u. der Religionskriege** von Dr. F. Kurze, Oberlehrer am Kgl. Luisengymnasium in Berlin. Nr. 34.

— — **III: Vom Westfälischen Frieden bis zur Auflösung des alten Reichs** (1648–1806) von Dr. F. Kurze, Oberl. am Kgl. Luisengymnasium in Berlin. Nr. 35.

— — siehe auch: Quellenkunde.

— **Französische,** von Dr. R. Sternfeld, Prof. a. d. Univers. Berlin. Nr. 85.

— **Griechische,** von Dr. Heinrich Swoboda, Professor an der deutschen Universität Prag. Nr. 49.

— **des 19. Jahrhunderts** v. Oskar Jäger, o. Honorarprofessor an der Univers. Bonn. 1. Bdchn.: 1800–1852. Nr. 216.

— — 2. Bdchn.: 1853 bis Ende d. Jahrh. Nr. 217.

— **Israels** bis auf die griech. Zeit von Lic. Dr. J. Benzinger. Nr. 231.

— **Lothringens,** von Dr. Herm. Derichsweiler, Geh. Regierungsrat in Straßburg. Nr. 6.

— **des alten Morgenlandes** von Dr. Fr. Hommel, Prof. a. d. Univers. München. M. 6 Bild. u. 1 Kart. Nr. 43.

— **Österreichische, I:** Von der Urzeit bis 1439 von Prof. Dr. Franz von Krones, neubearbeitet von Dr. Karl Uhlirz, Prof. an der Univ. Graz. Nr. 104.

Geschichte, Österreichische II: Von 1526 bis zur Gegenwart von Hofrat Dr. Franz von Krones, Prof. an der Univ. Graz. Nr. 105.

— **Römische,** von Realgymnasial-Dir. Dr. Jul. Koch in Grunewald. Nr. 19.

— **Russische,** v. Dr. Wilh. Reeb, Oberl. am Ostergymnasium in Mainz. Nr. 4.

— **Sächsische,** von Professor Otto Kaemmel, Rektor des Nikolaigymnasiums zu Leipzig. Nr. 100.

— **Schweizerische,** von Dr. K. Dändliker, Prof. a. d. Univ. Zürich. Nr. 188.

— **Spanische,** von Dr. Gustav Diercks. Nr. 266.

— **der Chemie** siehe: Chemie.

— **der Malerei** siehe: Malerei.

— **der Mathematik** s.: Mathematik.

— **der Musik** siehe: Musik.

— **der Pädagogik** siehe: Pädagogik.

— **der Physik** siehe: Physik.

— **des deutschen Romans** s.: Roman.

— **der deutschen Sprache** siehe: Grammatik, Deutsche.

— **des deutschen Unterrichtswesens** siehe: Unterrichtswesen.

Geschichtswissenschaft, Einleitung in die, von Dr. Ernst Bernheim, Professor an der Universität Greifswald. Nr. 270.

Gesundheitslehre. Der menschliche Körper, sein Bau und seine Tätigkeiten, von E. Rebmann, Oberschulrat in Karlsruhe. Mit Gesundheitslehre von Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abb. u. 1 Taf. Nr. 18.

Gewerbewesen von Werner Sombart, Professor an d. Universität Breslau. I. II. Nr. 203. 204.

Gewichtswesen. Maß-, Münz- und Gewichtswesen von Dr. Aug. Blind, Prof. an der Handelsschule in Köln. Nr. 283.

Gleichstrommaschine, Die, von C. Kinzbrunner, Ingenieur und Dozent für Elektrotechnik an der Municipal School of Technology in Manchester. Mit 78 Figuren. Nr. 257.

Sammlung Göschen

Je in elegantem Leinwandband **80 Pf.**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Kartenkunde, geschichtlich dargestellt von E. Gelcich, Direktor der k. k. Nautischen Schule in Lussinpiccolo und F. Sauter, Professor am Realgymnasium in Ulm, neu bearbeitet von Dr. Paul Dinse, Assistent der Gesellschaft für Erdkunde in Berlin. Mit 70 Abbildungen. Nr. 30.

Kirchenlied. Martin Luther, Thom. Murner, und das Kirchenlied des 16. Jahrhunderts. Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Professor G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaigymnasium zu Leipzig. Nr. 7.

Klimakunde I: Allgemeine Klimalehre von Professor Dr. W. Köppen, Meteorologe der Seewarte Hamburg. Mit 7 Tafeln und 2 Fig. Nr. 114.

Kolonialgeschichte von Dr. Dietrich Schäfer, Professor der Geschichte an der Universität Berlin. Nr. 156.

Kompositionslehre. Musikalische Formenlehre von Stephan Krehl. I. II. Mit vielen Notenbeispielen. Nr. 149. 150.

Kontrollwesen, Das agrikulturchemische, von Dr. Paul Krische in Göttingen. Nr. 304.

Körper, der menschliche, sein Bau und seine Tätigkeiten, von E. Rebmann, Oberschulrat in Karlsruhe. Mit Gesundheitslehre von Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abbildungen und 1 Tafel. Nr. 18.

Kristallographie von Dr. W. Bruhns, Professor an der Universität Straßburg. Mit 190 Abbild. Nr. 210.

Kudrun und Dietrichepen. Mit Einleitung und Wörterbuch von Dr. O. L. Jiriczek, Professor an der Universität Münster. Nr. 10.

— — siehe auch: Leben, Deutsches, im 12. Jahrhundert.

Kultur, Die, der Renaissance. Gesittung, Forschung, Dichtung von Dr. Robert F. Arnold, Privatdozent an der Universität Wien. Nr. 189.

Kulturgeschichte, Deutsche, von Dr. Reinh. Günther. Nr. 56.

Künste, Die graphischen, von Carl Kampmann, Fachlehrer a. d. k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Mit zahlreichen Abbildungen und Beilagen. Nr. 75.

Kurzschrift siehe: Stenographie.

Länderkunde von Europa von Dr. Franz Heiderich, Professor am Francisco-Josephinum in Mödling. Mit 14 Textkärtchen und Diagrammen und einer Karte der Alpeneinteilung. Nr. 62.

— **der außereuropäischen Erdteile** von Dr. Franz Heiderich, Prof. a. Francisco-Josephinum in Mödling. Mit 11 Textkärtchen u. Profil. Nr. 63.

Landeskunde von Baden von Prof. Dr. O. Kienitz in Karlsruhe. M. Profil, Abbildungen und 1 Karte. Nr. 199.

— **des Königreichs Bayern** von Dr. W. Götz, Professor an der Kgl. Techn. Hochschule München. Mit Profilen, Abbild. u. 1 Karte. Nr. 176.

— **von Britisch-Nordamerika** von Prof. Dr. A. Oppel in Bremen. Mit 13 Abbildungen und 1 Karte. Nr. 284.

— **von Elsaß-Lothringen** von Prof. Dr. R. Langenbeck in Straßburg i. E. Mit 11 Abbildgn. u. 1 Karte. Nr. 215.

— **der Iberischen Halbinsel** von Dr. Fritz Regel, Professor an der Universität Würzburg. Mit 8 Kärtchen und 8 Abbildung. im Text und 1 Karte in Farbendruck. Nr. 235.

— **von Österreich-Ungarn** von Dr. Alfred Grund, Privatdozent an der Universität Wien. Mit 10 Textillustration. und 1 Karte. Nr. 244.

— **des Königreichs Sachsen** v. Dr. J. Zemmrich, Oberlehrer am Realgymnas. in Plauen. Mit 12 Abbildungen u. 1 Karte. Nr. 258.

— **von Skandinavien** (Schweden, Norwegen und Dänemark) von Heinrich Kerp, Lehrer am Gymnasium und Lehrer der Erdkunde am Comenius-Seminar zu Bonn. Mit 11 Abbild. und 1 Karte. Nr. 202.

Sammlung Göschen
Je in elegantem Leinwandband **80 Pf.**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Logarithmen. Vierstellige Tafeln und Gegentafeln für logarithmisches und trigonometrisches Rechnen in zwei Farben zusammengestellt von Dr. Hermann Schubert, Professor an der Gelehrtenschule d. Johanneums in Hamburg. Nr. 81.

Logik. Psychologie und Logik zur Einführung in die Philosophie von Dr. Th. Elsenhans. Mit 13 Figuren. Nr. 14.

Luther, Martin, Thom. Murner und das Kirchenlied des 16. Jahrhunderts. Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaigymnasium zu Leipzig. Nr. 7.

Magnetismus. Theoretische Physik III. Teil: Elektrizität und Magnetismus. Von Dr. Gustav Jäger, Professor an der Universität Wien. Mit 33 Abbild. Nr. 78.

Malerei, Geschichte der, I. II. III. IV. V. von Dr. Rich. Muther, Professor an der Universität Breslau. Nr. 107—111.

Mälzerei. Brauereiwesen I: Mälzerei von Dr. Paul Dreverhoff, Direktor d. Öffentl. u. I. Sächs. Versuchsstation für Brauerei u. Mälzerei, sowie der Brauer- u. Mälzerschule zu Grimma. Nr. 303.

Maschinenelemente, Die. Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium und den prakt. Gebrauch von Fr. Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 86 Fig. Nr. 3.

Maß-, Münz- und Gewichtswesen von Dr. August Blind, Prof. an der Handelsschule in Köln. Nr. 283.

Maßanalyse von Dr. Otto Röhm in Stuttgart. Nr. 221.

Materialprüfungswesen. Einführ. i. d. mod. Technik d. Materialprüfung von K. Memmler, Diplomingenieur. Ständ. Mitarbeiter a. Kgl. Material-Prüfungsamte zu Groß-Lichterfelde. I: Materialeigenschaften. — Festigkeitsversuche. — Hilfsmittel f. Festigkeitsversuche. Mit 55 Fig. Nr. 311.

Materialprüfungswesen. Einführ. i. d. mod. Technik d. Materialprüfung von K. Memmler, Diplomingenieur. Ständ. Mitarbeiter a. Kgl. Material-Prüfungsamte zu Groß-Lichterfelde. II: Metallprüfung u. Prüfung von Hilfsmaterialien d. Maschinenbaues. — Baumaterialprüfung. — Papierprüfung. — Schmiermittelprüfung. — Einiges über Metallographie. Mit 31 Figuren. Nr. 312

Mathematik, Geschichte der, von Dr. A. Sturm, Professor am Obergymnasium in Seitenstetten. Nr. 226.

Mechanik. Theoret. Physik I. Teil: Mechanik und Akustik. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Univ. Wien. Mit 19 Abbild. Nr. 76.

Meereskunde, Physische, von Dr. Gerhard Schott, Abteilungsvorsteher an der Deutschen Seewarte in Hamburg. Mit 28 Abbild. im Text und 8 Tafeln. Nr. 112.

Messungsmethoden, Physikalische v. Dr. Wilhelm Bahrdt, Oberlehrer an der Oberrealschule in Groß-Lichterfelde. Mit 49 Fig. Nr. 301.

Metalle (Anorganische Chemie 2. Teil) v. Dr. Oskar Schmidt, dipl. Ingenieur, Assistent an der Königl. Baugewerkschule in Stuttgart. Nr. 212.

Metalloide (Anorganische Chemie 1. Teil) von Dr. Oskar Schmidt, dipl. Ingenieur, Assistent an der Kgl. Baugewerkschule in Stuttgart. Nr. 211.

Meteorologie von Dr. W. Trabert, Professor an der Universität Innsbruck. Mit 49 Abbildungen und 7 Tafeln. Nr. 54.

Mineralogie von Dr. R. Brauns, Professor an der Universität Kiel. Mit 130 Abbildungen. Nr. 29.

Minnesang und Spruchdichtung. Walther v. d. Vogelweide mit Auswahl aus Minnesang und Spruchdichtung. Mit Anmerkungen und einem Wörterbuch von Otto Güntter, Professor an der Oberrealschule und an der Techn. Hochschule in Stuttgart. Nr. 23.

